



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



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE: Technologie

DEPARTEMENT : Génie Civil

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par :

Baylik Youcef

Mousselmal Idris

DOMAINE : Sciences et Techniques

FILIERE : Hydraulique

OPTION : Ressources en Eau

Thème

**Effet de la perméabilité de la base sur le comportement
hydraulique d'un barrage en terre avec drain vertical:
Etude expérimentale**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
Gueddouda M K	MCA	Président
Lakhdari M F	MAA	Examineur1
Hamlat A	MCB	Examineur2
Djehiche Abd Alkadar	Pr	Rapporteur

Promotion : 06 – 2016

ملخص:

هذه الدراسة هي جزء من دراسات سلوكيات السدود الترابية ذات مصرف عمودي على قاعدة نفاذة. استخدمنا ثلاثة أنواع من الرمل في القاعدة. وقد وضعت منهجية تجريبية لدراسة تأثير طاقة المياه، المنحدر الأمامي و نفاذية القاعدة على سلوك الهيدروليكي للسدود. في هذا العمل، أجرينا سلسلة من التجارب على نموذج مصغر لسد ترابي لدراسة العلاقة بين طاقة المياه، منحدر الأمامي ونفاذية القاعدة وكمية التسرب المياه من خلال السد وقاعدته. **كلمات المفاتيح:** سد ترابي، مصرف عمودي، كمية التسرب، منحنى التشبع.

Résumé :

Cette étude se situe dans le cadre des études du comportement des barrages en terre avec un drain vertical sur une base perméable. On a utilisés trois types de sable pour la base. Une méthodologie expérimentale a été développée pour étudier l'effet de la charge d'eau, la pente du talus amont et la perméabilité de la base sur le comportement hydraulique des barrages.

Dans ce travail, nous avons réalisé une série d'essai sur des modèles réduits de barrage en terre homogène avec drain vertical pour l'étude de la relation entre charge d'eau, la pente du talus amont, la perméabilité de la base et la dédit de fuites d'eau à travers le barrage et sa base.

Mots clés: Barrage en terre, drain vertical, débit d'infiltration, courbe de saturation.

Summary:

This study is part of earth dam behavioral studies with a vertical drain on a pervious foundation. We used three types of sand for the foundation. An experimental methodology was developed to study the effect of head of water, the slope of the upstream slope and the permeability of the foundation of the hydraulic behavior of the dams.

In this paper, we carried out a series of test on homogeneous earth dam models with reduced drain chimney to the study of the relationship between head of water, the slope of the upstream, permeability of the foundation and infiltration flow through the dam and its foundation.

Keywords: earth dam, vertical drain, infiltration rate, saturation curve.

Remerciement :

Nos plus remerciement vont, en premier lieu, au dieu le miséricordieux le t'ont puissant pour nous avoir donné la patience

Nous tiendras en deuxième lieu, a remercie notre encadreur Dr. Djehiche pour son aide et soutien tout au long de notre projet de fin d'études.

Aussi, nous me permetts d'exprimer tout notre respect aux membres de jury qui me feront l'honneur d'apprécier notre travail.

En fin, nous tiendrons également à remercier tous les enseignants de département de génie civil option hydraulique de l'université Ammar thelidji , et tous les travailleurs de laboratoire de génie civil.

Dédicace

Ce modeste travail de recherche, nous a permis de fermer une porte de notre vie et d'ouvrir une autre.

On dédie le fruit de ce travail :

A nos chère parents, à nos frères et nos sœurs qui nous ont accompagnés toujours même aux moments les plus difficiles ;

Nous sommes convaincu que leur présence a favorisé beaucoup la réalisation de ce mémoire ;

A nos chers oncles et tantes qui nous ont donné du soutien ;

Aux familles : Baylik, Mousselmal, qui occupent une place particulière dans notre vie ;

A nos chers amis : Mourad, Mahmoud ,Moussa, Nadya

Sans oublier nos collègues de la promotion 2015-2016.

Idris /Youssef

Liste des matières	I
Liste des figures	V
Liste des tableaux.....	VIII
Liste des symboles	IX

Introduction générale:	1
------------------------------	---

Chapitre I : Etude bibliographique

I.1	Introduction :.....	3
I.2	Définition des Barrages en terre :.....	3
I.2.1	Vocation des barrages :	3
I.3	Historique des barrages en terre:.....	3
I.3.1	Egypte :	4
I.3.2	Grèce :	4
I.3.3	moyen Orient :	4
I.3.4	Extrême Orient :	4
I.3.5	Epoqueromaine :	4
I.3.6	Moyen Age et les temps modernes :	5
I.4	Types de barrage en terre :	6
I.4.1	Les barrages en terre homogènes	6
I.4.2	Les barrages en terre à noyau étanche :	6
I.4.3	Les barrages en terre à masque amont :	7
I.5	Drains :	8
I.5.1	Définition :	8
I.5.2	Rôle des drains	8
I.5.3	Différents types de drainages:	9
I.5.3.1	Prisme de drainage	9
I.5.3.2	Drainage de surface :	9
I.5.3.3	Prisme de drainage avec drainage de surface :	10
I.5.3.4	Drain tapis interne	10
I.5.3.5	Prisme de drainage avec drain tapis interne	11
I.5.3.6	Drainage a bande :	12
I.5.3.7	Drain vertical.....	12
I.6	Loi d'écoulement de l'eau dans le sol :	13

I.6.1	Introduction :	13
I.6.2	Les milieux poreux :	13
I.6.2.1	Caractéristiques des milieux poreux :	14
I.7	Physique d'écoulement en milieux poreux :	17
I.7.1	Equation de continuité :	17
I.7.2	Loi de Darcy :	18
I.7.2.1	Limite de validité de la loi de darcy :	19
I.8	Coefficient de perméabilité :	19
I.8.1	Perméabilité des milieux stratifiés :	19
I.8.2	Mesure de la perméabilité en laboratoire :	20
I.8.2.1	Perméamétrie à charge constant :	20
I.8.2.2	Perméamétrie à charge variable :	21
I.9	L'écoulement à travers les zones de perméabilités différentes :	23
I.10	Le phénomène de RENARD :	24
I.11	Conclusion :	25

Chapitre II : Matériels et méthodes

II.1	Introduction :	26
II.2	Caractéristique des échantillons utilisent :	26
II.2.1	Masses volumiques :	26
I.2.1.1	Masse volumique apparent :	26
I.2.1.2	Résultat de l'essai :	27
Tableau (II.1) : résultat de l'essai de masse volumique apparent :		27
I.2.1.3	Masse volumique absolue :	27
I.2.1.4	Résultat de l'essai :	28
Tableau (II.2) : résultat de l'essai de masse volumique absolue		28
II.2.2	Analyse granulométrique:	29
I.2.2.1	Principe de l'essai :	29
I.2.2.2	Description de l'essai :	29
I.2.2.3	Résultat de l'essai :	29
I.2.2.4	Les coefficients d'uniformité et de courbure :	30
II.2.3	Détermination de coefficient de perméabilité du matériau utilisé :	35
I.2.3.1	Coefficient de perméabilité horizontale :	35
I.2.3.2	Coefficient de perméabilité verticale :	41

II.3	Modélisation des barrages en terre sur une base perméable :	46
II.3.1	Principe:	46
II.3.2	Description du bassin de perméabilité:	47
II.3.3	Constructions des modèles :	47
II.3.4	Modèle expérimental :	48
II.4	Conclusion :	51

Chapitre III : Résultats et recommandations

III.1	INTRODUCTION:	52
III.2	Barrage en crêt constaté :	53
III.2.1	Détermination expérimental de débit d'infiltration à travers la base :	54
III.2.1.1	Modele KhbKhc=1:	54
III.2.1.2	Modele KhbKhc=1.1:	54
III.2.1.3	Modele KhbKhc=1.3:	55
III.2.2	Détermination expérimental de débit d'infiltration à travers le drain :	56
III.2.2.1	Modele KhbKhc=1:	56
III.2.2.2	Modele KhbKhc=1.1:	57
III.2.2.3	Modele KhbKhc=1.3:	58
III.2.3	La charge d'eau devant le drain :	60
III.2.4	Comparaison entre les résultats de l'an passe et cette an :	61
III.2.4.1	Comparaison entre les débits de drain pour chaque type de sol :	61
III.3	Barrage en crêt Varia :	66
III.3.1	Détermination expérimental de débit d'infiltration à travers la base :	67
III.3.1.1	Modele KhbKhc=1:	67
III.3.1.2	Modele KhbKhc=1.1 :	68
III.3.1.3	Modele KhbKhc=1.3 :	68
III.3.2	Détermination expérimental de débit d'infiltration à travers le drain:	69
III.3.2.1	Modele KhbKhc=1:	69
III.3.2.2	Modele KhbKhc=1.1:	69
III.3.2.3	Modele KhbKhc=1.3:	70
III.3.3	La charge d'eau devant le drain :	71
III.4	La différons enter le débit de drain pour une pente constate et une crêt varieront :	73
III.5	Conclusion :	77

Liste des matières

Conclusion général	78
Références Bibliographique	80
Annexes I	81
Annexes II	114

Liste des figures :

Chapitre I : Etude bibliographique.

Figure I.1	Les barrages en terre homogènes	06
Figure I.2	Les barrages en terre à noyau étanche	07
Figure I.3	Les barrages en terre à masque amont	08
Figure I.4	Prisme de drainage	09
Figure I.5	Le Drainage de surface	10
Figure I.6	Prisme de drainage avec drainage de surface	10
Figure I.7	Le drain tapis interne	11
Figure I.8	Prisme de drainage avec drain tapis interne	11
Figure I.9	Drainage a bande	12
Figure I.10	Le drain vertical	12
Figure I.11	Représentation d'un milieu poreux	13
Figure I.12	Trajectoire d'une molécule d'eau dans un milieu poreux	16
Figure I.13	Conservation de la masse dans un volume	17
Figure I.14	Ecoulement d'eau à travers un échantillon de sol	18
Figure I.15	Perméabilité des sols stratifiés	20
Figure I.16	Essai de perméabilité à charge constante (schéma de principe)	21
Figure I.17	Essai de perméabilité à charge variable (schéma de principe)	22
Figure I.18	Condition de continuité des débits à l'interface de deux couches de sol isotrope	24
Figure I.19	réfraction des lignes de courant et des équipotentiellles	24
Figure I.20	Le phénomène de RENARD	25

Chapitre II : Matériels et méthodes

Figure II.1	L'essai de la masse volumique apparent	27
Figure II.2	L'essai de la masse volumique absolue	28
Figure II.3	Série de tamis et agitateur utilisés pour l'analyse granulométrique	30
Figure II.4	Courbes granulométriques	34
Figure II.5	Bassine de perméabilité[	35
Figure II.6	Bassine de perméabilité	35
Figure II.7	Courbe de $f(x) = Q_{20}(H^2 - h^2)$	40
Figure II.8	Bassine de perméabilité	42
Figure II.9	Courbe de $f(x) = Q_{20}(\Delta H)$	46
Figure II.10	Schéma du dispositif expérimental	47
Figure II.11	Les dimensions de modèle01,02 et03 pour les différentes pentes	49
Figure II.12	Les dimensions de modèle04, 05 et 06 pour les différentes pentes	50

Chapitre III : Résultats et recommandations

Figure III.1	schéma de barrage en crêt constaté et une pente varie	53
Figure III.2	barrage en terre avec un drain vertical	53
Figure III.3	les débits de base pour le modèle $\frac{K_h b}{K_h c} = 1$	54
Figure III.4	les débits de base pour le modèle $\frac{K_h b}{K_h c} = 1.1$	55

Liste des figures :

Figure III.5	les débits de base pour le modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1.3$	56
Figure III.6	les débits de drain pour le modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1$	57
Figure III.7	les débits de drain pour le modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1.1$	58
Figure III.8	les débits de drain pour le modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1.3$	59
Figure III.9	la présentation des schémas des piézomètres	60
Figure III.10	La charge d'eau devant le drain pour $\frac{K_h b}{K_h c}=1.1$ et $N=3$	60
Figure III.11	les débits de drain de modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1$	62
Figure III.12	les débits de drain de modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1$	62
Figure III.13	les débits de drain de modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1.7$	63
Figure III.14	les débits de drain de modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1.1$	63
Figure III.15	les débits de drain de modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=2.1$	64
Figure III.16	les débits de drain de modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1.3$	64
Figure III.17	les débits de base de modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1$	65
Figure III.18	les débits de base de modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1$	65
Figure III.19	les débits de base de modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1.7$	66
Figure III.20	les débits de base de modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1.1$	66
Figure III.21	les débits de base de modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=2.1$	67
Figure III.22	les débits de base de modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1.3$	67
Figure III.23	schéma de barrage en crête varie et une pente varie	68
Figure III.24	barrage en terre avec un drain vertical et crête varie	68
Figure III.25	les débits de drain pour le modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1$	69
Figure III.26	les débits de drain pour le modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1.1$	70
Figure III.27	les débits de drain pour le modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1.3$	70
Figure III.28	la présentation de schéma des piézomètres	71
Figure III.29	La charge d'eau devant le drain pour $\frac{K_h b}{K_h c}=1.3$ et $N=1.5$	72

Liste des figures :

Figure III.30	le debit de drain pour meme sol $\frac{K_h b}{K_h c} = 1.1$ et meme pente n= 3.0	73
Figure III.31	schéma du barrage à crête variable pour une pente n=3 et b_{cv}=6cm	73
Figure III.32	le debit de drain pour meme sol $\frac{K_h b}{K_h c} = 1.1$ et meme pente n=2.5	74
Figure III.33	schéma du barrage à crête variable pour une pente n=2.5 et b_{cv}=9.5cm	74
Figure III.34	le debit de drain pour meme sol $\frac{K_h b}{K_h c} = 1.1$ et meme pente n=2	75
Figure III.35	schéma du barrage à crête varié pour une pente n=2 et b_{cv}=13cm	75
Figure III.36	le debit de drain pour meme sol $\frac{K_h b}{K_h c} = 1.1$ et meme pente n=1.5	76
Figure III.37	schéma du barrage à crête varié pour une pente n=1.5 et b_{cv}=16.5cm	76

Liste des tableaux :

Chapitre II : Matériels et méthodes

Tableau II.1	résultat de l'essai de masse volumique apparent	27
Tableau II.2	résultat de l'essai de masse volumique absolue	28
Tableau II.3	Résultats de l'analyse granulométrique de sable 1	31
Tableau II.4	Résultats de l'analyse granulométrique de sable 2 :	32
Tableau II.5	Résultats de l'analyse granulométrique de sable 3	33
Tableau II.6	Les coefficients d'uniformité et de courbure	34
Tableau II.7	mesures de débit pour Sable01	37
Tableau II.8	mesures de débit pour Sable02	38
Tableau II.9	mesures de débit pour Sable03	39
Tableau II.10	mesures de débit pour Sable01	43
Tableau II.11	mesures de débit pour Sable02	44
Tableau II.12	mesures de débit pour Sable03	45

Chapitre III : Résultats et recommandations

Tableau III.1	Ndr essai dans ce travail	52
Tableau III.2	les débits de base pour le modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1$	54
Tableau III.3	les débits de base pour le modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1.1$	55
Tableau III.4	les débits de base pour le modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1.3$	55
Tableau III.5	les débits de drain pour le modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1$	56
Tableau III.6	les débits de drain pour le modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1.1$	57
Tableau III.7	les débits de drain pour le modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1.3$	58
Tableau III.8	les charge en mesuré avec les piézomètre N=3	60
Tableau III.9	les débits de base pour le modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1.7$	61
Tableau III.10	les débits de base pour le modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1.1$	61
Tableau III.11	les débits de drain pour le modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1$	69
Tableau III.12	les charge en mesuré avec les piézomètre N=1.5	71

Liste des symboles

A	section de l'échantillon	(m ²)
B	largeur de la berge du barrage	(cm)
b	épaisseur en crête du barrage	(cm)
C _C	coefficient courbure	
C _U	coefficient d'uniformité	
D	la longueur représentative de l'écoulement	
D ₁₀	diamètre des grains (en mm) correspondant à 10 % de passant en poids	
D ₃₀	diamètre des grains (en mm) correspondant à 30 % de passant en poids	
D ₆₀	diamètre des grains (en mm) correspondant à 60 % de passant en poids	
e	indice des vides	
g	accélération de pesanteur	(m/s ²)
H ₁	Hauteur d'eau en amont	(cm)
H ₂	Hauteur d'eau en aval	(cm)
H	potentiel hydraulique	(m)
h ₀	la différence de charge au temps t ₀	(m)
h ₁	la différence de charge au temps t ₁	(m)
i	gradient hydraulique	
I	Densité relative	
k	coefficient de perméabilité	(m/s)
k _h	coefficient de perméabilité horizontale	(cm/s)
k _v	coefficient de perméabilité verticale	(cm/s)
k _x ,	représentent les composantes de la perméabilité respectivement sur les	(m/s)
k _y ,	axes x, y et z appelées perméabilités principales	
k _z		
k _{he}	perméabilité équivalent pour un écoulement parallèle à la stratification	(m/s)
k _{ve}	perméabilité équivalent pour un écoulement perpendiculaire à la stratification	(m/s)
ΔL	longueur de l'échantillon	(m)
L	la longueur de bassin de perméabilité	(cm)
m	pentés des talus amont	
m	masse de sol	(g)
M _s	masse du solide sec	(g)
M	masse total d'échantillon	(g)
n	la porosité	
P	pression l'eau	(ba)
Q	débit d'écoulement, mesuré à la sortie	(m ³ /s)
Q ₂₀	débit d'infiltration pour T= 20°C	(m ³ /s)
R _n	les masses des différents refus cumulés	
s	section de l'échantillon	(cm ³)
S	la Somme des refus partiels	(g)
S _r	degré de saturation du sol en eau	
T	la température	(°C)
t	le temps	(s)
v	vitesse de filtration	(m/s)
V _t	volume total de l'échantillon de sol	(m ³)
V _v	volume des vides contenu dans le sol	(m ³)
V _w	volume de l'eau dans le sol	(m ³)
ρ	masse volumique du fluide	(kg/m ³)

Liste des symboles

ρ_{app}	masse volumique apparente	(kg/m ³)
ρ_s	masse volumique absolue du sol	(kg/m ³)
γ_e	poids spécifique de l'eau	(N/m ³)
γ_t	poids spécifique de matériau	(N/m ³)
μ	la viscosité dynamique	(N.s/m ³)
ν	la viscosité cinématique	(m ² /s)
ν_{20}	la viscosité cinématique pour la température 20 °C	(m ² /s)
ν_t	la viscosité cinématique pour la température T °C	(m ² /s)



Introduction **générale**

Introduction générale:

L'édification d'ouvrages à travers des cours d'eau, en vue d'y prélever une part plus ou moins importante du débit, compte parmi les activités les plus anciennes de l'humanité : les œuvres modernes, bénéficiant des progrès continus de la technique, ont vu leurs tailles s'accroître, leurs formes s'élaborer, leurs buts se diversifier, mais chacune d'elles peut se reconnaître en un ancêtre, même à l'état embryonnaire.

Le but primitif, et qui demeure toujours l'un des objectifs essentiels dans la plupart des régions du globe, est l'irrigation. La régularisation, réclamée par l'agriculture, des débits au cours de l'année conduit à créer des réservoirs saisonniers d'une capacité d'autant plus grande que l'on cherche à contrôler une fraction plus forte des apports annuels du cours d'eau ; à cet effet, il faut bâtir des barrages de plus en plus importants, par leur hauteur ou leur longueur. De tels lacs artificiels permettent, de réduire, dans une certaine mesure les dégâts occasionnés par les crues dont les pointes les plus sévères peuvent être écrêtées [Lakhdar 2006].

Un barrage forme avec ses assises, une barrière qui crée, entre le plan d'eau de la réserve et l'aval, une charge hydraulique. Dans le cas d'un barrage en terre formé de matériaux plus ou moins perméables, s'asseyant bien souvent sur des terrains également plus ou moins perméables, l'eau de la retenue aura tendance à s'infiltrer dans le massif et dans les terrains d'assise pour venir resurgir à l'aval. Les infiltrations ne seront pas gênantes tant qu'elles n'affecteront pas la sécurité de l'ouvrage ou pour autant que, sans nuire à cette sécurité, elles ne dépasseront pas un certain débit au-delà duquel le barrage risquerait de ne plus remplir efficacement son rôle [Harrat 2015].

L'ingénieur qui projette un barrage en terre aura comme objectif, premièrement de réduire à des valeurs acceptables les débits d'infiltrations, et deuxièmement de les contrôler. Il importe, donc, que les caractéristiques des matériaux du massif et de la fondation soient particulièrement bien connues car elles influent considérablement sur les phénomènes d'infiltration cause de tout désordre.

Dans cette étude, nous nous sommes intéressés à l'écoulement à travers une base perméable et un corps de barrage en terre homogène avec un drain vertical. Notre objectif est en effet d'étudier l'influence de la variation du rapport de la perméabilité (corps du barrage et la base), des conditions de la charge et de la pente du talus amont sur le processus de drainage dans un barrage en terre homogène avec un drain vertical. A cet effet, des comparaisons seront effectuées entre les différents résultats expérimentaux.

Introduction générale:

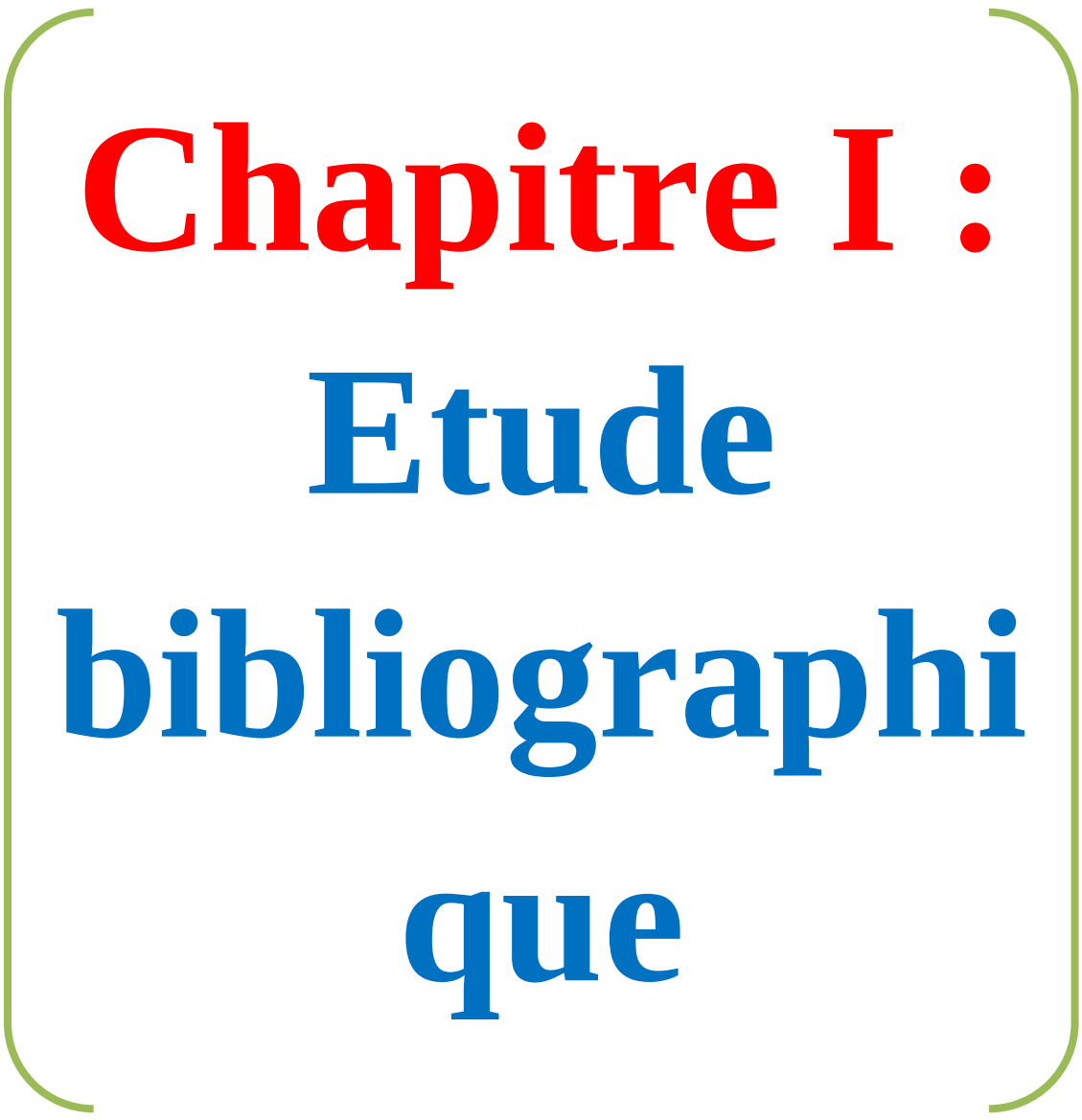
Le mémoire comporte trois chapitres répartis comme suit :

Dans le premier chapitre, on présente une étude bibliographique sur l'historique des barrages, les différents types des barrages et de leur système de drainage, ainsi que les lois d'écoulement de l'eau dans les milieux poreux.

Le deuxième chapitre présente la description des matériaux utilisés, le matériel expérimental, des méthodes d'analyse et des protocoles expérimentaux.

Le troisième chapitre est consacré à la présentation des principaux résultats expérimentaux.

Enfin, ce travail se termine par une conclusion générale et des recommandations pour les futures recherches. Le mémoire comprend également des annexes et une bibliographie qui se rapportent aux différents sujets traités dans ce travail.

A pair of large, light green curly brackets framing the text.

Chapitre I :

Etude bibliographi que

I.1 Introduction :

Les barrages en terre peuvent être constitués par des matériaux de caractéristiques divers, à la différence des barrages en béton ou même en enrochement dont les matériaux constitutifs restent contenus dans des fourchettes beaucoup plus étroites [Amieur, 2012].

L'utilisation des matériaux locaux généralement bon marché et leurs disponibilités à proximité du site fait que la solution barrage en remblais est intuitivement choisis par rapport aux autres types de barrages considérés rigides et s'adaptent difficilement aux assises non rocheuses [Messaid, 2009].

I.2 Définition des Barrages en terre :

On appelle barrages en terre tous les barrages construits avec des matériaux terreux. Cette catégorie de barrages regroupe plusieurs catégories différentes par les types de matériaux utilisés et la méthode employée pour assurer l'étanchéité. Ainsi les matériaux de construction peuvent avoir une granulométrie étendue avec une gamme de grains allant du très fins au grossier [Messaid, 2009].

I.2.1 Vocation des barrages :

Il s'agit de barrages dont les usages sont les suivants :

- stockage pour l'irrigation ;
- stockage pour l'alimentation en eau potable ;
- alimentation des canaux navigables ;
- plans d'eau de loisirs ;
- écrêtement des crues et/ou soutien des étiages ;
- et plus récemment, stockage pour la production de neige artificielle.

Bien sûr, dans de nombreux cas, ces barrages peuvent avoir plusieurs fonctions, dans la limite de leur compatibilité. C'est systématiquement le volume de stockage qui est l'objectif recherché (ou la surface du plan d'eau pour les activités touristiques)

I.3 Historique des barrages en terre:

Les barrages existent probablement depuis la préhistoire (réserve d'eau potable, d'irrigation, viviers, piscicultures) [Wikipédia 2016], mais c'est au Moyen Âge qu'ils se sont fortement développés en Europe pour alimenter les moulins à eau. Il semble qu'ils aient

parfois pu s'appuyer sur des sédiments accumulés en amont d'embâcles naturels, ou sur les lieux de barrages de castors dont la toponymie conserve des traces. Les cartes anciennes, de Cassini par exemple, portent témoignage des nombreux barrages de petites rivières faits par les paysans ou les moines locaux, pour conserver l'eau et y élever du poisson ou pour le rouissage du lin ou du chanvre. En conservant des volumes d'eau et une hauteur d'eau plus importante en saison sèche, ces barrages ont également pu tamponner les fluctuations estivales des nappes (car toutes choses égales par ailleurs, c'est la hauteur d'eau qui contrôle la vitesse de percolation, Loi de Darcy) [Bouaich 2013].

I.3.1 Egypte :

Saad-el-Kafara est le premier vrai barrage connu construit en Egypte vers 2600 ans avant J.C. il avait 14 m de hauteur, 113 m de longueur et créait une retenue de 500000 m³ environ.

Sa structure était constituée d'une partie centrale imperméable (qu'on appellerait aujourd'hui un noyau) avec deux épaulements en enrochement [Allout 2013].

I.3.2 Grèce :

Les cinquièmes travaux d'Hercule nécessitaient, pour nettoyer les écuries d'Augias, le détournement d'une rivière. L'ouvrage actuel de diversion, toujours en activité, a été construit vers 1260 ans avant J.C. il s'agit d'une digue en remblai encadrée par deux murs en maçonnerie cyclopéen protégeant le pied des remblais vis-à-vis de l'érosion [Allout 2013].

I.3.3 moyen Orient :

On trouve en Turquie des ouvrages (ou ce qu'il reste) de retenue d'eau construits par les Hittites établis dans cette région au XVII^{ème} siècle avant J.C. C'est en Jordanie, autour de Jawa, qu'on situe le plus ancien barrage du monde (3000 ans avant J.C) avec une structure interne très complexe. Haut de 5 m environ, il comportait plusieurs zones de remblai encadrées par deux murs en maçonnerie [Allout 2013].

I.3.4 Extrême Orient :

Il existe au Sri Lanka des barrages anciens remarquables, parfois entièrement en maçonnerie, le plus souvent en remblai homogène. Le barrage de Paskanda Ulpota, construit en 300 avant J.C. et surélevé en 460 de notre ère, a constitué jusqu'en 1675 le record du monde de hauteur avec 34 m [Allout 2013].

I.3.5 Epoqueromaine :

Les Romains n'ont entrepris la construction de barrage qu'assez tardivement. Ils ont employés des méthodes et des techniques de construction très élaborées. Ils utilisaient

notamment un mortier de ciment aux pouzzolanes de très bonnes caractéristiques de résistance et de durabilité.

Des ouvrages importants ont été construits par les romains dans la péninsule ibérique. Le barrage d'Alantarilla était constitué d'un mur amont en maçonnerie épaulé par deux remblais aval. Après la rupture de ce barrage, fut érigé le barrage de Proserpine avec un parement amont incliné renforcé par des contreforts. Malgré une maîtrise parfaite des voûtes pour la construction des ponts, les romains ont très rarement utilisé les voûtes pour les barrages. une vraie voute a été construite dans le vallon de Baume près de Saint-Rémy de Provence. Haut de 12 m, longue de 18 m et avec un rayon de courbure moyen de 14 m, elle était constituée de deux murs parallèles en maçonnerie, de 1 m à 1,3 m d'épaisseur, séparés par un remplissage en terre de 1,5 m de large [Allout 2013].

I.3.6 Moyen Age et les temps modernes :

Cette époque marque le début d'une ère de spécialisation des barrages, à la fois en fonction de leur type et de leur usage (irrigation, alimentation en eau, navigation, énergie...) les grands types de barrages utilisés aujourd'hui apparaissent à cette époque Parmi les plus remarquables, on peut citer :

- Les barrages en remblai construits dans la région minière des montagnes du Harz en Allemagne ;
- Le barrage-poids très arqué d'Almanza (Espagne) construit en 1384 et surélevé 200 ans plus tard ;
- Le barrage d'Elche, plus massif, considéré comme la première voûte construite en Europe depuis les Romains
- Le barrage de Caromb construit en France en 1766 et dont la stabilité précaire fut encore réduite par une surélévation dès 1769 (avant d'être finalement renforcé par l'aval en 1977) ;
- Le barrage de puentes construit dans un site difficile puisque la fondation est constituée de dépôts alluvionnaires très épais. L'ouvrage initial de 26m de haut fut emporté en 1650, soit un an seulement après la première mise en eau. En oubliant de façon très étonnante ce premier accident, on construit au même endroit un deuxième barrage-poids de 50 m de hauteur environ.

En 1802, une rupture, amorcée par l'érosion soudaine au travers de la fondation sur pilotis, provoqua la mort d'un millier de personnes [Allout 2013].

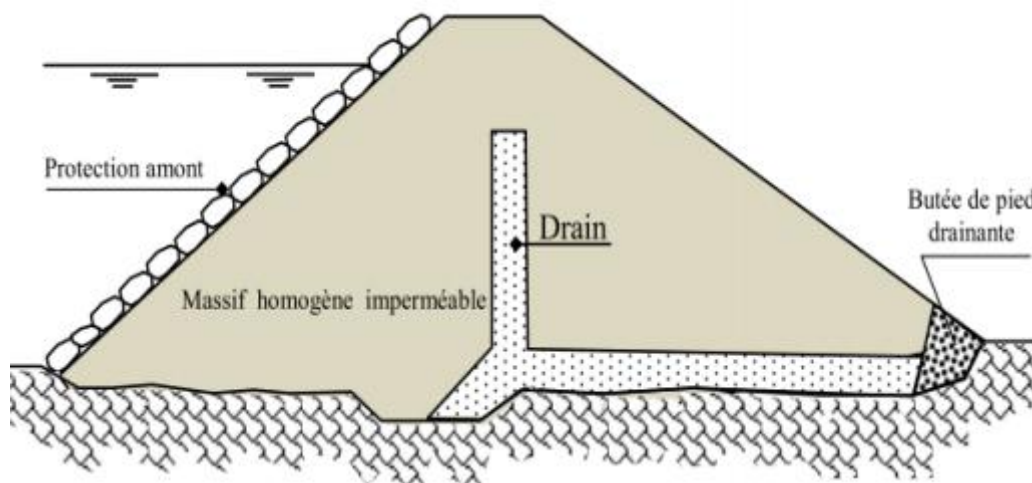
I.4 Types de barrage en terre :

Les barrages en terre compactés peuvent être divisés en trois principaux types : les ouvrages en terre homogènes, ceux à noyaux étanches et ceux à masques amont.

I.4.1 Les barrages en terre homogènes

Ils sont totalement construits avec un seul matériau qui est le plus souvent argileux remplissant simultanément les deux fonctions d'écran et de masse. Ce matériau doit présenter des caractéristiques permettant de garantir une étanchéité suffisante et une stabilité du remblai.

Leur simplicité a permis de développer une technique de réalisation bien maîtrisée tout en assurant une grande sécurité, néanmoins ce type de barrage est surtout adopté pour la réalisation de retenue collinaires et de petits barrages.



Fig(I.1) :Les barrages en terre homogènes [bouaicha 2013]

I.4.2 Les barrages en terre à noyau étanche :

Dans le cas où la quantité des matériaux imperméables disponibles sur site est insuffisante pour réaliser tout le corps du barrage, on opte le plus souvent pour un ouvrage à zones avec un noyau en argile assurant l'étanchéité (Figure I.2).

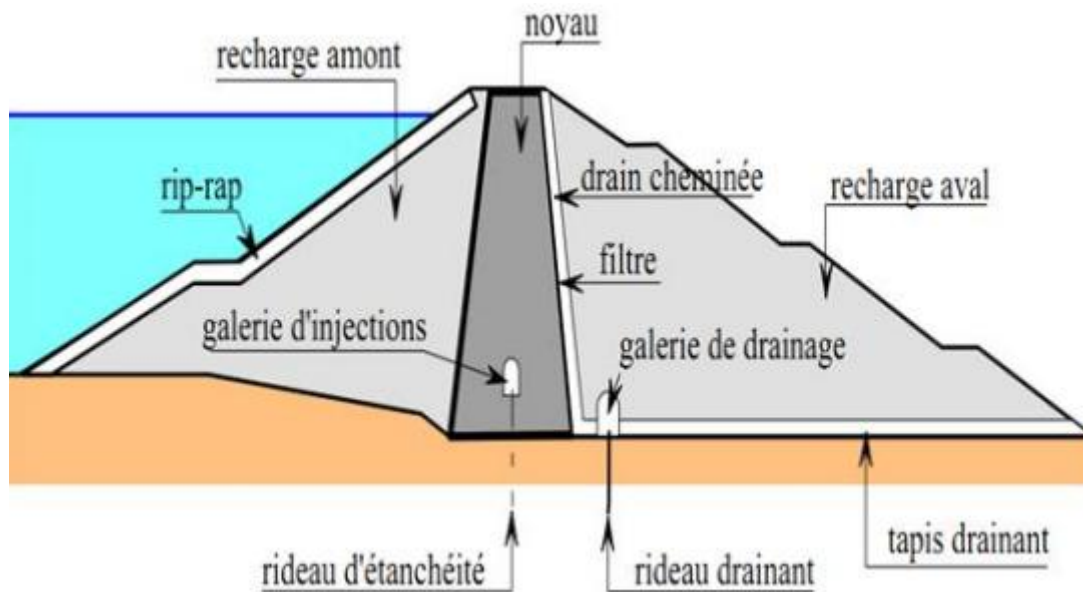
La stabilité du massif sera assurée par des zones perméables appelées recharges. Ces recharges peuvent être au nombre variables et disposées différemment d'un barrage à un autre en fonction de la nature du matériau et des conditions spécifiques à chaque barrage.

Ce type de barrages présente toutefois l'inconvénient d'une mise en œuvre plus compliquée et onéreuse surtout si la vallée est étroite et où le travail mécanisé devient plus

complicé. Un autre inconvénient, est la nécessité de séparer par des filtres de transition les différentes zones.

Par contre, pour les ouvrages importants, les matériaux grossiers de recharges sont plus résistants que les matériaux argileux, on peut donc construire des talus plus raides et on contrôle mieux les écoulements dans le corps du barrage.

Notons que le noyau étanche peut être vertical ou incliné et parfois remplacé par un diaphragme en béton au ciment ou bitumineux.



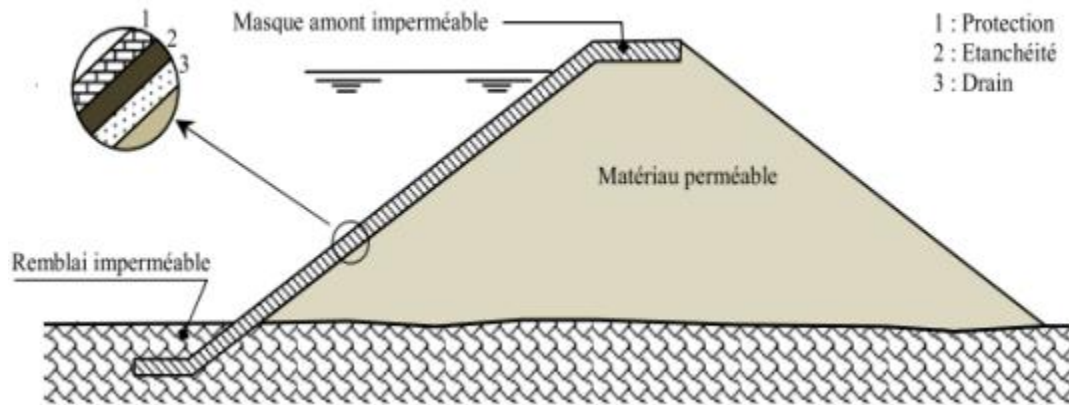
Fig(I.2) : Les barrages en terre à noyau étanche [bouaicha 2013]

I.4.3 Les barrages en terre à masque amont :

Les barrages en terre à masque sont des remblais perméables avec un écran imperméable appelé masque placé sur le parement amont (Figure I.3).

Le corps du barrage est construit avec un matériau quelconque pour autant qu'il soit peu déformable et pouvant assurer la stabilité au glissement de l'ensemble de l'ouvrage.

Le masque qui assure l'étanchéité peut être en béton, en produits bitumineux ou en géo membrane. La présence de ce masque sur le parement amont présente un double avantage de pouvoir faire des réparations en cas de dégradation du masque et de permettre de faire des vidanges rapides sans risque de glissements [Messaid 2009].



Fig(I.3) : Les barrages en terre à masque amont [bouaicha 2013]

I.5 Drains :

I.5.1 Définition :

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 souple ou rigide [Messaid 2009].

I.5.2 Rôle des drains

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

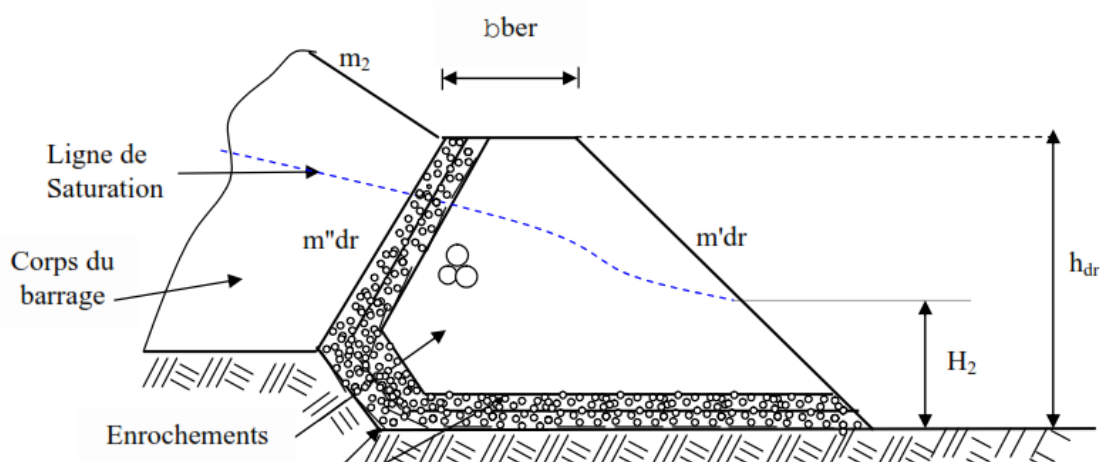
- ✓ Intercepter les eaux d'infiltration et les évacuer à l'aval du barrage.
- ✓ Abaisser la ligne de saturation et éviter les résurgences sur le talus aval.
- ✓ Abaisser la ligne de saturation, pour garder une grande partie du remblai non saturé afin de conserver les caractéristiques géotechniques du 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.

I.5.3 Différents types de drainages:

On rencontre plusieurs types de drainages qui diffèrent les uns des autres par leur formes constructives, leur emplacement dans le barrage et le rôle pour lequel ils ont été prévus [Messaid 2009].

I.5.3.1 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 (Figure I.4).



Légende :

b_{ber} : largeur de la berme

h_{dr} : hauteur du prisme de drainage.

m'_{dr} et m''_{dr} : pente des talus aval et amont du prisme de drainage

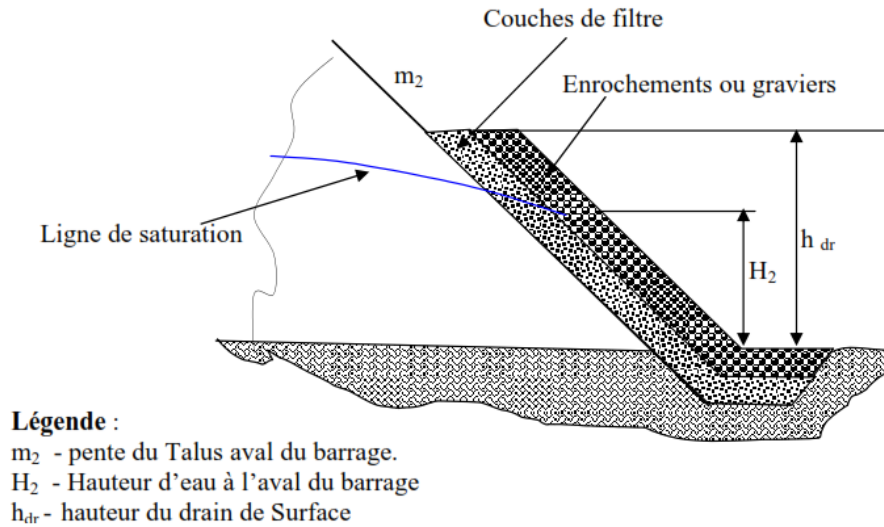
m_2 : pente du talus aval du barrage.

H_2 : hauteur d'eau à l'aval du barrage.

Fig(I.4):Prisme de drainage [Messaid 2009].

I.5.3.2 Drainage de surface :

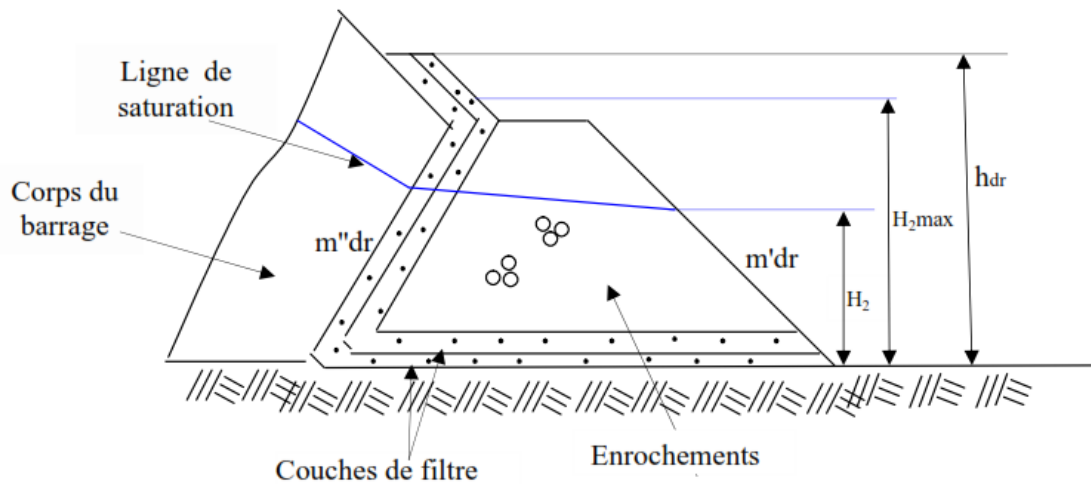
Ce type de drainage, est employé dans la construction de petites retenues collinaires. Il présente l'avantage de ne pas exiger de grandes quantités d'enrochement pour sa construction et d'être facilement réparable en cas d'avaries. Il présente l'inconvénient de ne pas influencer la ligne de saturation qui peut débaucher sur le talus aval du barrage (Figure I.5) [Messaid 2009].



Fig(I.5):Le Drainage de surface [Messaid 2009]

I.5.3.3 Prisme de drainage avec drainage de surface :

C'est une variante qui associe les deux variantes précédentes. Il est employé dans les cas où l'étude hydrologique fait ressortir la possibilité d'une élévation exceptionnelle du niveau d'eau à l'aval et qui risque de dépasser la crête du prisme de drainage (Figure I.6).

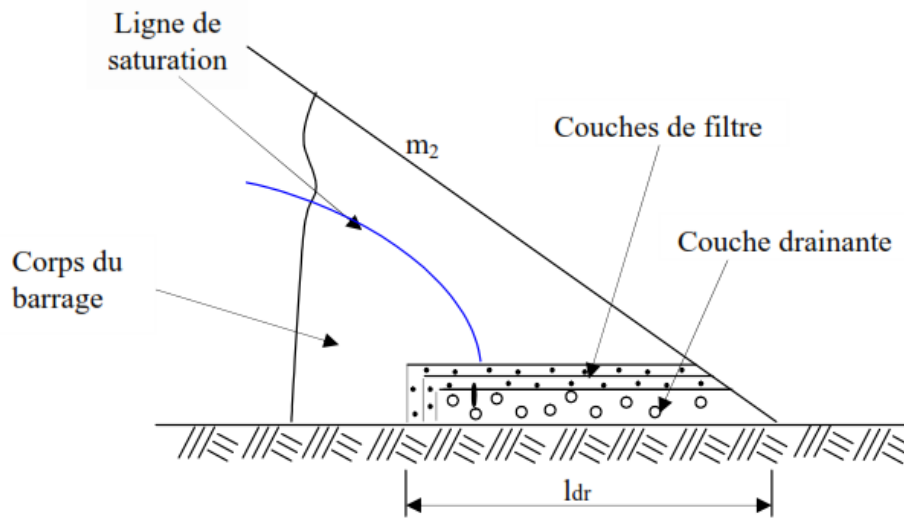


Fig(I.6):Prisme de drainage avec drainage de surface [Messaid 2009].

I.5.3.4 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

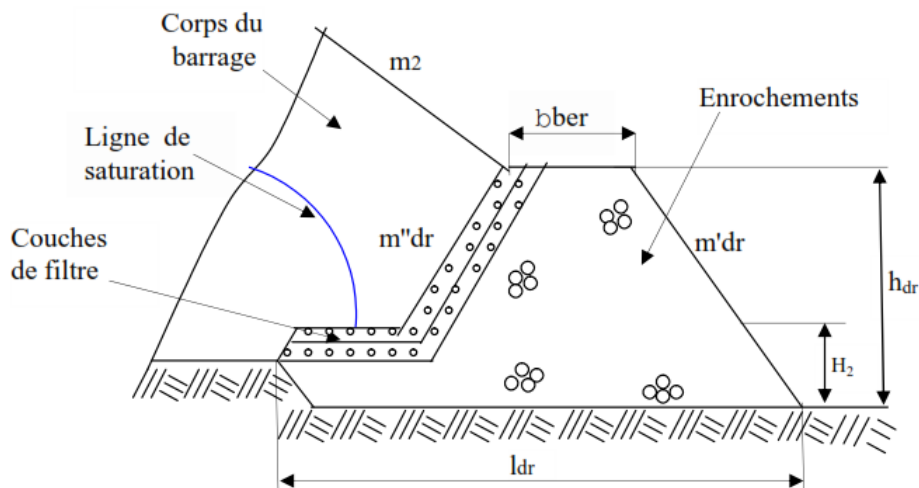
l'avantage de rabattre la ligne de saturation à l'intérieur du massif. Sa réalisation est très facile mais sa réparation en cas d'avaries est impossible (Figure I.7).



Fig(I.7):Le drain tapis interne [Messaid 2009].

I.5.3.5 Prisme de drainage avec drain tapis interne

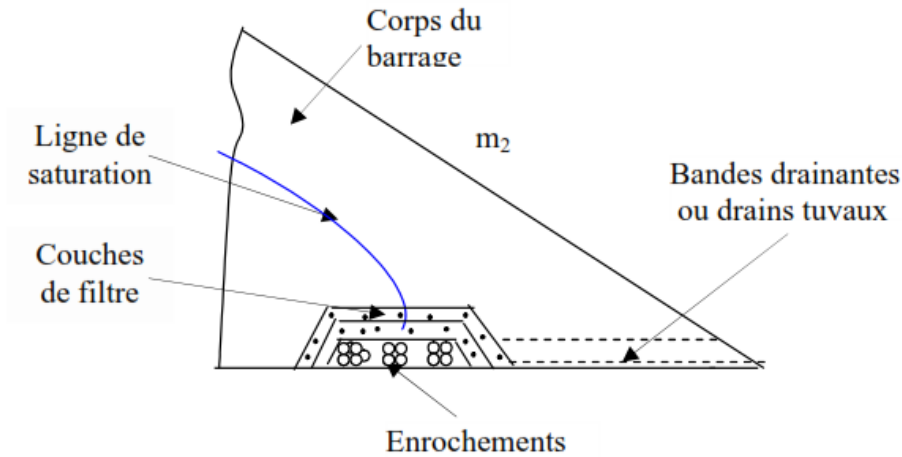
Le plus souvent et pour des raisons de sécurité de l'ouvrage, on associe les deux variantes du prisme de drainage et du tapis interne. Ainsi le prisme de drainage est prolongé à l'intérieur du massif par un drain tapis interne. On rencontre deux variantes suivant que les fondations sont perméables ou non (Figure I.8) [Messaid 2009].



Fig(I.8):Prisme de drainage avec drain tapis interne [Messaid 2009]

I.5.3.6 Drainage a bande :

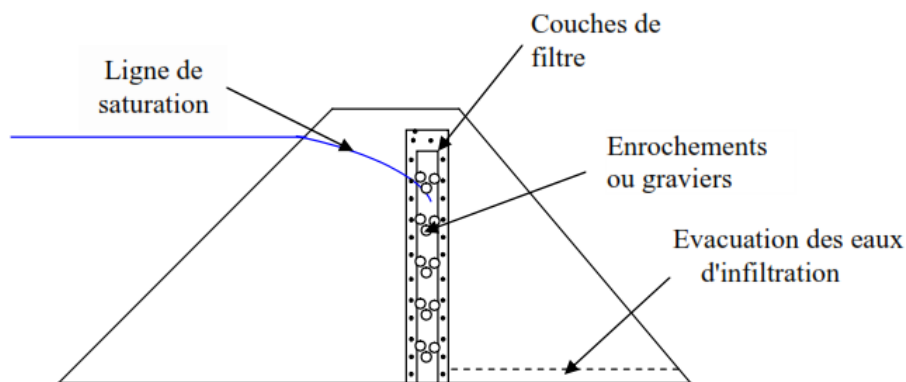
C'est une variante du drain tapis interne mais la bande drainante n'est pas continue sur sa partie aval. Celle-ci est remplacée par des bandes discontinues (Figure I.9).



Fig(I.9): Drainage a bande [Messaid 2009]

I.5.3.7 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 I.10).



Fig(I.10): Le drain vertical [Messaid 2009].

I.6 Loi d'écoulement de l'eau dans le sol :

I.6.1 Introduction :

Les écoulements dans les milieux poreux comprennent tous les mouvements des fluides qui s'effectuent dans un massif solide comportant des pores interconnectés. Le massif peut être du type granulaire (cailloux, gravier, sable, limon, argile,...etc.) ou du type rocheux fissuré, soit par dissolution (roches karstiques) ou par fracturation (roches basaltiques).

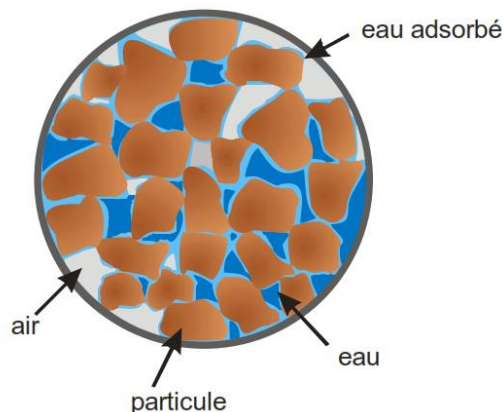
Le domaine d'application des théories relatives aux écoulements dans les milieux poreux est très vaste. Il concerne aussi bien les infiltrations d'eau dans le cycle hydrologique naturel que le passage du fluide à travers les ouvrages hydrauliques aménagés par l'homme : canaux, digues, barrage.

La description des écoulements en milieux poreux est extrêmement difficile en raison de la complexité du milieu. Même si l'écoulement dans un tube unique est donné par des équations simples, le réseau de tubes est impossible de le connaître en détail [Amieur 2012].

I.6.2 Les milieux poreux :

La catégorie des terrains poreux comprend en premier lieu toutes les alluvions fluviales ou glaciaires, les masses d'éboulis et tous les remblais artificiels. On peut également rattacher les formations gréseuses et les conglomérats perméables.

D'une manière générale, les milieux poreux (Figure I.11) sont définis par deux critères :



Fig(I.11) : Représentation d'un milieu poreux [Albtari 2007]

- Le matériau doit contenir de petits espaces vides, appelés pores, délimités par une matrice solide ;
- Le matériau doit être perméable à un écoulement de fluide.

Ces deux critères renvoient à deux caractéristiques essentielles d'un milieu poreux : la porosité, la fraction de vide, et la perméabilité qui indique l'aptitude d'un milieu poreux, c'est-à-dire estimées sur un volume contenant de nombreuses entités microscopiques composant le matériau, le pore.

I.6.2.1 Caractéristiques des milieux poreux :

Un milieu poreux constitué par du matériel granuleux est caractérisé, du point de vue géométrique, par divers paramètres que nous indiquons ci- après :

Homogénéité :

On dit qu'un milieu poreux est homogène quand, en n'importe quel point, la résistance à l'écoulement est la même, par rapport à une direction donnée. Le concept d'homogénéité est fondamental pour l'étude théorique [Harrat 2015].

Isotropie :

Le milieu poreux est appelé isotrope, si, quelle que soit la direction considérée, la résistance à l'écoulement, ou toute autre propriété, est la même dans toutes les directions [Harrat 2015].

Potentiel hydraulique :

On appelle potentiel hydraulique pour les milieux poreux ou charge, en un point le terme [Harrat 2015]:

$$H = \frac{p}{\rho g} + z + \frac{v^2}{2g} \quad (I.1)$$

Avec :

Z : cote du point considéré par rapport à un plan horizontal de référence.

H : Potentiel hydraulique.

ρ : Masse spécifique du fluide.

g : Accélération de pesanteur.

P : pression de pore au point considéré.

Dans les sols, les vitesses sont faibles, et la quantité $\frac{v^2}{2g}$ qui représente l'énergie cinétique est tout à fait négligeable, si bien que la formule (I.1) s'écrit :

$$H = \frac{p}{\rho g} + z \quad (I.2)$$

Porosité et compacité :

La porosité est le rapport du volume des vides (eau et air) au volume total du sol [Berga 2014].

Chapitre I : Etude bibliographique.

$$n = \frac{V_v}{V_t} \quad (I.3)$$

Dans un volume égale à l'unité, les grains solides occupent le volume $1-n$ dit compacité.

$$c = 1 - n$$

Indice des vides :

C'est le rapport du volume des vides au volume des grains solides [Berga 2014] :

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (I.4)$$

Cette définition aboutit aux relations :

$$e = \frac{n}{n-1} \text{ et } n = \frac{e}{e+1} \quad (I.5)$$

Densité relative ou indice de densité :

Elle est définie par l'expression [Berga 2014] :

$$I_d = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (I.6)$$

$e_{\min}$: est l'indice des vides correspondant à l'état le plus compact.

$e_{\max}$: est l'indice des vides correspondant à l'état le plus lâche.

Teneur en eau :

C'est le rapport du poids de l'eau au poids de la matière sèche [Berga 2014] :

$$w = \frac{P_w}{P_s} \quad (I.7)$$

W	Etat du sol
0 - W_R	Solide sans retrait
$W_R - W_P$	Solide avec retrait
$W_P - W_L$	Plastique
$\geq W_L$	Liquide

Degré de saturation :

C'est le rapport du volume occupé par l'eau au volume total des vides [Berga 2014] :

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \quad (I.8)$$

S_r	Etat du sol
0	Sec
1 - 25	Peu humide
25 - 50	Humide
50 - 75	Très humide
100	saturé

Granulométrie :

La courbe granulométrique représente le pourcentage en poids des grains de dimension inférieure à D en fonction de la dimension D d'un grain. On l'obtient par tamisage pour les grains de dimension supérieure à $80\ \mu\text{m}$ et par densimétrie pour les grains de dimension inférieure à $80\ \mu\text{m}$. En densimétrie, D est le diamètre d'une sphère de même poids que le grain. En tamisage c'est la maille du tamis.

Soit D_x la dimension de grain correspondant à $x\%$ en poids de tamisât (ce qui passe au travers du tamis). On appelle coefficient d'uniformité (ou de HAZEN) le rapport ,

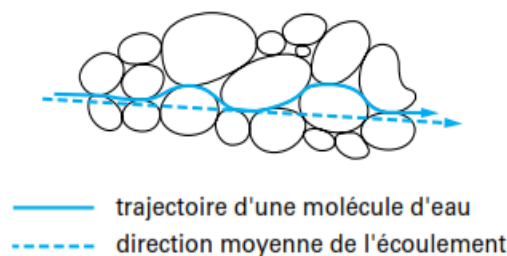
$$C_u = D_{60} / D_{10}.$$

Un sol tel que $C_u < 3$ est dit à granulométrie uniforme ; un sol tel que $C_u > 3$ est dit à granulométrie étalée [Gérard et Paul 2009].

Perméabilité :

C'est une propriété caractéristique du milieu poreux elle désigne la capacité à laisser passer un fluide à s'écouler. Ces écoulement se font par des chemins complexes et tortueuse à travers les pores interconnecté et de différent taille et de forme Figure(I.12), cette perméabilité elle est influencé par de nombreuses facteurs, principalement sont [Jean-Pierre 1999] :

- Forme des pores (la taille et la distribution de ces pores).
- La température influe sur la viscosité par conséquent le comportement du fluide change.



Fig(I.12) : Trajectoire d'une molécule d'eau dans un milieu poreux [Jean-Pierre 1999].

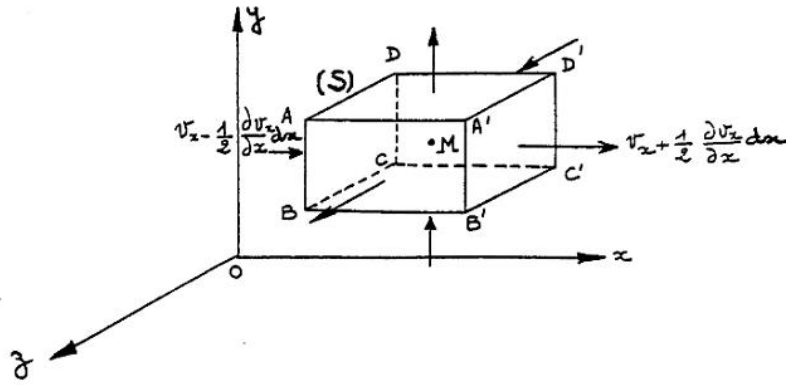
I.7 Physique d'écoulement en milieux poreux :

I.7.1 Equation de continuité :

Pour expliciter la condition de continuité, considérons un parallélépipède élémentaire de sol, limité par une surface (S), de côtés dx , dy et dz . Soit $\vec{v}(v_x, v_y, v_z)$ la vitesse de l'eau au centre M de cet élément de volume (figure I.13) [Léreau 2006] :

L'eau pénètre par la facette ABCD avec une vitesse : $v_x - \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial v_x}{\partial x} dx$ et sort par la facette A'B'C'D avec une vitesse : $v_x + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial v_x}{\partial x} dx$

Il en est de même pour les autres facettes :



Fig(I.13) : Conservation de la masse dans un volume [Léreau 2006]

Au total, le volume d'eau entrant dans le parallélépipède pendant l'intervalle de temps dt s'écrit :

$$dv_1 = \left[\left(v_x - \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial v_x}{\partial x} dx \right) dy \cdot dz + \left(v_y - \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial v_y}{\partial y} dy \right) dx \cdot dz + \left(v_z - \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial v_z}{\partial z} dz \right) dx \cdot dy \right] dt \quad (\text{I.9})$$

$$dv_2 = \left[\left(v_x + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial v_x}{\partial x} dx \right) dy \cdot dz + \left(v_y + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial v_y}{\partial y} dy \right) dx \cdot dz + \left(v_z + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial v_z}{\partial z} dz \right) dx \cdot dy \right] dt \quad (\text{I.10})$$

La condition de continuité $dv_1 = dv_2$ s'écrit donc après simplification :

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \quad (\text{I.11})$$

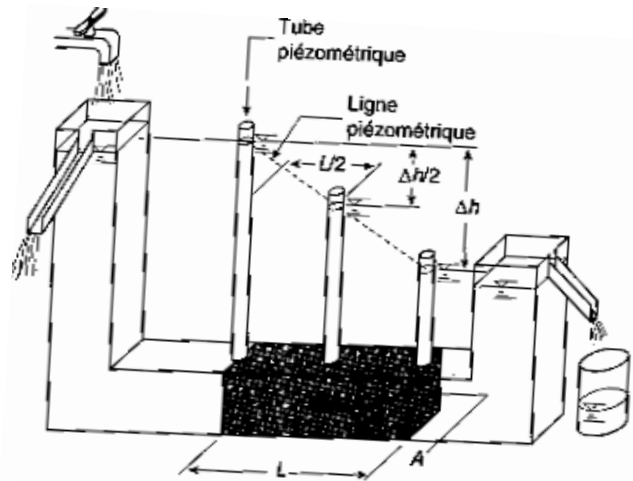
Soit

$$\text{div } \vec{v} = 0 \quad (\text{I.12})$$

C'est la loi de conservation en volume.

I.7.2 Loi de Darcy :

Dans le cadre de ses expérimentations pour améliorer la qualité des filtres utilisés à la purification des eaux d'alimentation de la ville de Dijon en France, Henry Darcy fut le premier à observer en 1856 la relation entre le débit à travers le sable et la perte de charge qui lui était associée .



Fig(I.14) : Ecoulement d'eau à travers un échantillon de sol [Robitaille 1997]

Quoique expérimental au début, les observations subséquentes en ont fait une loi de portée générale qui porte son nom. Le débit au travers d'un matériel poreux présenté à la (figure I.15) s'exprime :

$$Q = -k \frac{\Delta H}{\Delta L} A \quad (\text{I.13})$$

Q : débit (m^3/s)

K : coefficient de proportionnalité appelé conductivité hydraulique de sol (m/s)

H : perte de charge (m)

L : longueur de l'écoulement (m)

A : section d'écoulement (m^2)

Le débit est proportionnel à la perte de charge par unité de longueur et proportionnel à la surface de l'écoulement. Le débit est aussi proportionnel à un coefficient dépendant du type de sol, coefficient qui a été appelé conductivité hydraulique. Le rapport de la perte de charge par unité de longueur est appelé gradient hydraulique "i":

$$i = \frac{\Delta H}{\Delta L} \quad (\text{I.14})$$

I.7.2.1 Limite de validité de la loi de darcy :

Pour que la loi de Darcy soit applicable c'est évident que l'écoulement reste en régime laminaire et de ne pas dépasser le seuil d'apparition de turbulence, il est nécessaire que le nombre de Reynolds (**Re**) qui mesure l'importance des force d'inertie par rapport aux force de viscosité soit supérieur à 1.

$$1 < Re = \frac{v D}{\nu} < 10 \quad (I.15)$$

Avec :

Re : nombre de Reynolds

v : la vitesse d'écoulement

ν : la viscosité cinématique (μ/ρ)

D : la longueur représentatif de l'écoulement

Aussi que La loi de Darcy soit valide, il est nécessaire que la matrice solide est homogène, isotrope et stable, ainsi que le fluide aussi est homogène isotherme et incompressible.

I.8 Coefficient de perméabilité :

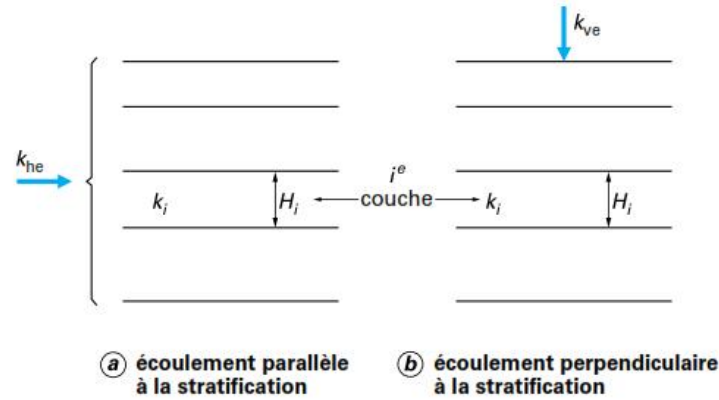
Le coefficient k de la loi de Darcy, appelé « coefficient de perméabilité », a la dimension d'une vitesse car le gradient hydraulique « i » est sans dimension (rapport de deux longueurs) et la vitesse d'écoulement de l'eau a elle-même la dimension d'une vitesse. Il s'exprime en général en m/s.

Le coefficient de perméabilité dépend à la fois des caractéristiques du sol et de celles de l'eau. On montre qu'il est de la forme :

I.8.1 Perméabilité des milieux stratifiés :

Les sols naturels sédimentaires, provenant du transport et du dépôt des produits d'altération des roches, se présentent en général sous forme de couches superposées, sensiblement horizontales et de perméabilités différentes.

On peut remplacer cette succession de couches par une couche unique de perméabilité équivalente, c'est-à-dire donnant le même débit sous la même charge. En notant k_i et H_i respectivement le coefficient de perméabilité et l'épaisseur de la i^e couche, on obtient [Jean-Pierre 1999]:



Fig(I.15) : Perméabilité des sols stratifiés [Jean-Pierre 1999].

- pour un écoulement parallèle à la stratification (figure I.16a), le coefficient de perméabilité équivalent k_{he} :

$$k_{he} = \frac{\sum_{i=1}^n k_i H_i}{\sum_{i=1}^n H_i} \quad (I.16)$$

- pour un écoulement perpendiculaire à la stratification (figure I.16b), le coefficient de perméabilité équivalent k_{ve} :

$$k_{ve} = \frac{\sum_{i=1}^n H_i}{\sum_{i=1}^n (H_i / k_i)} \quad (I.17)$$

On peut montrer que, dans tous les cas, $k_{ve} \leq k_{he}$

I.8.2 Mesure de la perméabilité en laboratoire :

Le principe de la mesure consiste à relier le débit q traversant un échantillon cylindrique de sol saturé (écoulement uniforme) à la charge h sous laquelle se produit l'écoulement. Suivant l'ordre de grandeur de la perméabilité du sol étudié on sera amené à travailler sous charge constante (perméabilités élevées $k > 10^{-5}$ m/s) ou sous charge variable (faibles perméabilités $k < 10^{-5}$ m/s) [Léreau 2006].

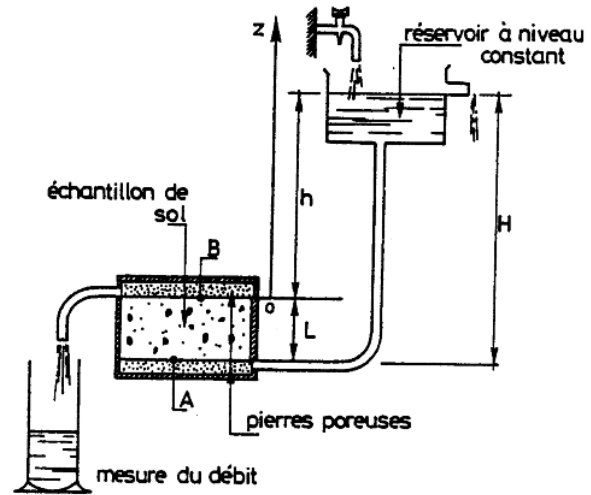
Tableau (I.1) : Valeurs du coefficient de perméabilité des sols

Type de sol	Gravier	Sables	Limons (silts)	Argiles
k (m/s)	10^0	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9} à 10^{-11}
Méthode de mesure en laboratoire	Perméamètre à charge constante		Perméamètre à charge variable	

I.8.2.1 Perméamétrie à charge constant :

Le niveau de l'eau dans le réservoir étant maintenu constant, on a, en prenant le plan de référence au niveau de sortie de l'eau (figure I.16)

K : coefficient de perméabilité de Darcy.
 q : débit d'écoulement, mesuré à la sortie.
 L : longueur de l'échantillon.
 h : niveau de l'eau dans le tube
 S : section de l'échantillon normale à la direction de l'écoulement



Fig(I.16) : Essai de perméabilité à charge constante (schéma de principe) [Léreau 2004]

- En A : $h_A = \frac{U_A}{\gamma_w} + z_A = H - L = h$ (I.18)

- En B : $h_B = \frac{U_B}{\gamma_w} + z_B = 0$ (I.19)

- Perte de charge entre A et B :

$$h_A - h_B = h \quad (I.20)$$

- Gradient hydraulique :

$$i = \frac{h}{L} \quad (I.21)$$

- Débit traversant l'échantillon :

$$q = v \cdot S = k \cdot \frac{h}{L} \cdot S \quad (I.22)$$

D'où :

$$k = \frac{q}{S} \cdot \frac{L}{h} \quad (I.23)$$

Avec :

.

I.8.2.2 Perméamétrie à charge variable :

Dans le cas des faibles perméabilités, l'essai à charge constante serait trop long, les débits étant très faibles. On procède alors à charge variable : l'eau provient d'un tube de faible diamètre (sections) relié à l'échantillon. Au fur et à mesure que l'écoulement se produit, le niveau de l'eau dans le tube baisse (charge variable). On mesure le temps t nécessaire pour que l'eau descende du niveau h1 au niveau h2 (figure I.17) [Léreau 2006].

Dans cet essai, le mouvement n'est pas permanent, mais le phénomène est lent et on suppose que la loi de Darcy est applicable à chaque intervalle de temps élémentaire.

s: la section de tube

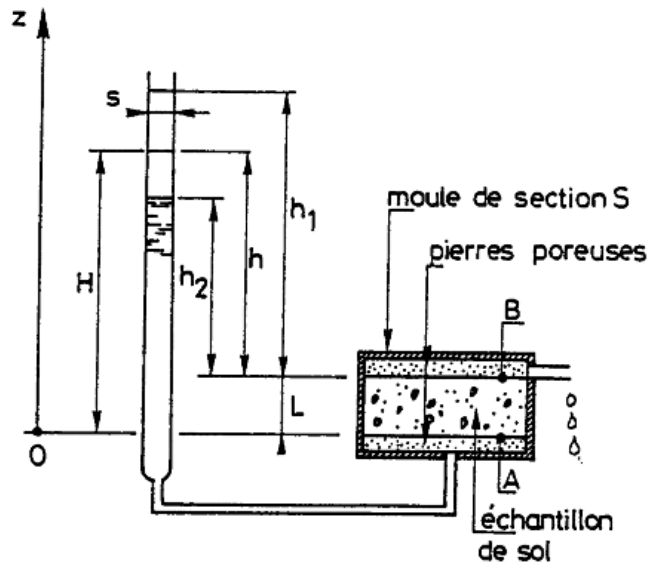
S : section de l'échantillon

L : longueur de l'échantillon.

h_2 : la différence de charge au temps t_2

h_1 : la différence de charge au temps t_1

t : le temps



Fig(I.17) :Essai de perméabilité à charge variable (schéma de principe) [Léreau 2006]

Avec les notations de la figure (plan de référence au niveau d'entrée de l'échantillon) il vient, pour un temps intermédiaire :

- En A : $h_A = \frac{U_A}{\gamma_w} + z_A = H$ (I.24)

- En B : $h_B = \frac{U_B}{\gamma_w} + z_B = L$ (I.25)

- Perte de charge entre A et B :

$$h_A - h_B = H - L = h \quad (I.26)$$

- Gradient hydraulique :

$$i = \frac{h}{L} \quad (I.27)$$

- Débit traversant l'échantillon :

$$q = v \cdot s = k \cdot \frac{h}{L} \cdot s \quad (I.28)$$

En écrivant que le volume d'eau qui traverse l'échantillon pendant l'intervalle de temps dt est égal à la diminution de volume d'eau dans le tube, Il vient :

$$dV = q \cdot dt = -s \cdot dh \quad (I.29)$$

Soit :

$$k \cdot \frac{h}{L} \cdot S \cdot dt = -s \cdot dh \quad (I.30)$$

D'où :

$$k \cdot \int_0^t dt = -\frac{s}{S} \cdot L \cdot \int_{h_2}^{h_1} \frac{dh}{h} \quad (I.31)$$

Après intégration :

$$k = \frac{s}{S} \cdot \frac{L}{t} \cdot \ln \frac{h_1}{h_2} \quad (I.32)$$

I.9 L'écoulement à travers les zones de perméabilités différentes :

Il arrive fréquemment que l'écoulement traverse des zones de perméabilités différentes. Sur les limites de ces zones les lignes de courant et les surfaces équipotentiels subissent une réfraction.

Les surfaces de séparation entre deux zones d'inégale perméabilité, peuvent être considérées comme des limites intérieures sur lesquelles se raccordent deux écoulements distincts. La charge hydraulique et la vitesse de filtration y sont soumises à des conditions de continuité. [Schneebeli, 1987]

Une condition de continuité est imposée pour assurer la continuité de l'écoulement dans un massif de sols, aux interfaces de couches de perméabilités différentes : le débit normal à l'interface est égal dans les deux couches, ce qui se traduit par la condition [Jean-Pierre, 1999] :

$$V_{n1} = V_{n2} \quad (I.33)$$

Ou :

$$k_{n1} \frac{\partial h_1}{\partial n} = k_{n2} \frac{\partial h_2}{\partial n} \quad (I.34)$$

Avec :

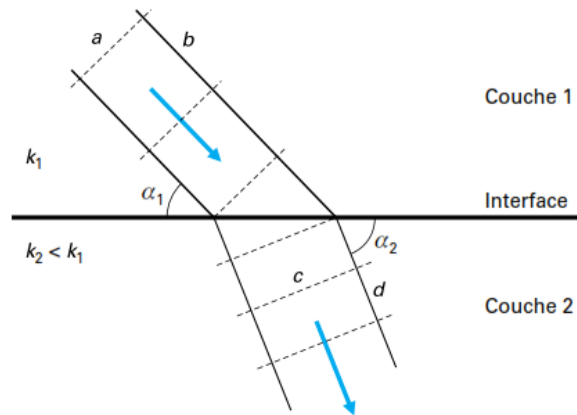
- V_{n1}, V_{n2} : vitesses d'écoulement normales à l'interface dans les couches 1 et 2, respectivement ;
- k_{n1}, k_{n2} : Coefficients de perméabilité des couches 1 et 2, respectivement, dans la direction normale à l'interface des couches ;
- h_1, h_2 : Charges hydrauliques dans la couche 1 et 2, respectivement ;
- n : Direction normale à l'interface.

Les composantes des vitesses d'écoulement tangentes à l'interface peuvent être quelconques.

Si les sols des deux couches en contact sont isotropes, alors les pentes des lignes de courant de part et d'autre de l'interface sont dans le rapport inverse des coefficients de perméabilité (figure I.18) :

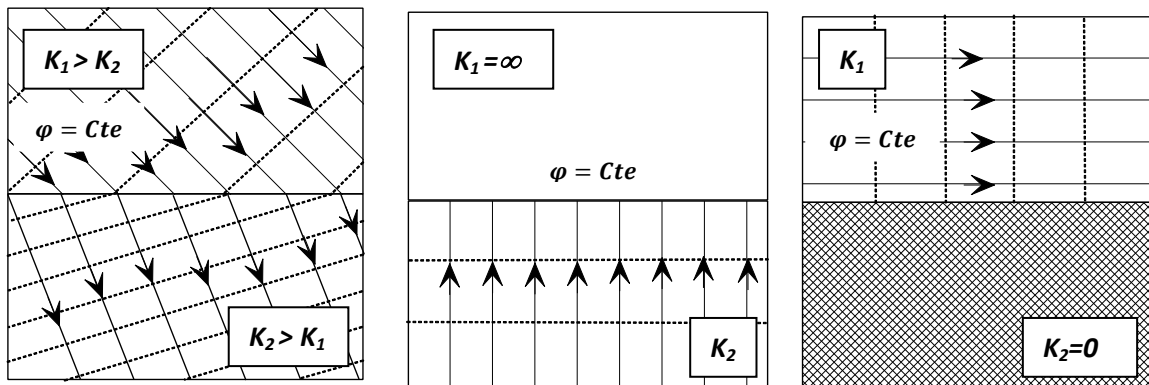
$$\frac{\tan \alpha_2}{\tan \alpha_1} = \frac{k_1}{k_2} \quad (I.35)$$

et les équipotentiels sont plus rapprochées dans le milieu le moins perméable.



Fig(I.18) : Condition de continuité des débits à l'interface de deux couches de sol isotrope [Jean-Pierre, 1999]

C'est la loi de réfraction des lignes de courant et des équipotentiels. La (figure I.19) montre, suivant la valeur k_1/k_2 la façon dont s'effectue cette réfraction.

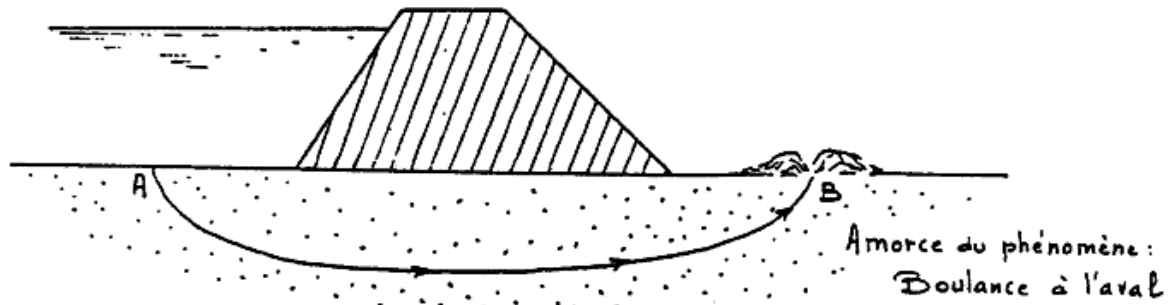


Fig(I.19) : réfraction des lignes de courant et des équipotentiels

I.10 Le phénomène de RENARD :

Le phénomène de boulangage apparaît dans le cas d'un écoulement vertical ascendant. Dans le cas général d'un écoulement en milieu perméable, l'eau peut atteindre localement des vitesses élevées susceptibles d'entraîner les particules fines du sol. De ce fait, le sol étant rendu localement plus perméable, la vitesse de décharge augmente et le phénomène s'amplifie. Des éléments plus gros vont être entraînés tandis que l'érosion progressera de manière régressive le long d'une ligne de courant. Un conduit se forme par où l'eau

s'engouffre et désorganise complètement le sol. C'est le phénomène de RENARD (Figure I.21) [Léreau 2006].



Fig(I.20) : Le phénomène de RENARD [Léreau 2006].

I.11 Conclusion :

Dans ce chapitre on a cité une notation général des barrage en terre tel que :

La Définition des Barrages en terre ; l historique des barrages ; Les différents type des barrages en terre ; Les différents type des drains dans le barrage en terre et le rôle de chaque système de drainage.

La Définition de la Loi d'écoulement de l'eau dans le sol et différentes Caractéristiques des milieux poreux homogène et La Définition de la Perméabilité dans le sol avec un petit définition de la loi de Darcy.



Chapitre II :

Matériels et méthodes

II.1 -Introduction :

Au cours de ce travail, une modélisation expérimentale du comportement des barrages en terre sur une base perméable a été initiée. L'objectif est de développer un modèle physique simple permettant d'étudier et de caractériser les problèmes d'écoulement à travers le corps et la base du barrage en terre homogène avec un drain vertical. Le but est de définir les mécanismes qui contrôlent le débit de fuite, le réseau d'écoulement et le niveau d'eau dans les drains.

Avant de commencer toute expérience, il a été nécessaire de vérifier les propriétés des matériaux utilisés. Pour répondre à ce besoin, des tests de propriété ont été exécutés sur des échantillons représentatifs des matériaux. Les tests caractéristiques, présentés dans les sections suivantes, incluent masses volumique, l'analyse granulométrique, et l'essai de perméabilité.

II.2 Caractéristique des échantillons :

nous avons trois échantillons qu'on l'utilise pour la construction des modèles qui sont constitués de sable 01(sable fin),sable 02 (sable moyen) et sable 03 (sable moyen)

II.2.1 Masses volumiques :

II.2.1.1 Masse volumique apparente :

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules.

La masse volumique apparente d'un matériau pourra avoir une valeur différente suivant qu'elle sera déterminée à partir d'un matériau compacté ou non compacté [*Ghomari et Bendi-Ouis, 2008*].

La masse volumique apparente est donnée par :

$$\rho_{app} = \frac{m}{V} \quad (II.1)$$

m : masse de sol (g) ;

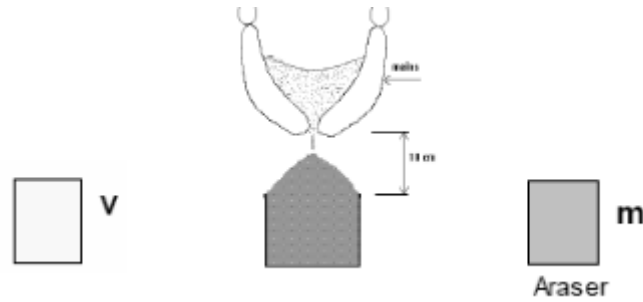
V : volume de sol (cm³).

Description d'essai :

On procède de la manière suivante (Figure II.1).

- ✓ 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.



Fig(II.1) : L'essai de la masse volumique apparent [Ghomari et Bendi-Ouis, 2008]

- L'essai est répété 3 fois pour un volume de 1 litre et la moyenne de ces essais donne la valeur de la masse volumique apparente.

Les ordres de grandeur des masses volumiques apparentes sont pour différents types de sols [www.grr.ulaval.ca] :

- Sols sableux 1,40 -- 1,70 g/cm³
- Sols argileux 1,00 -- 1,50 g/cm³
- Sols tourbeux 0,30 -- 1,00 g/cm³

Résultat de l'essai :

Tableau (II.1) : résultat de l'essai de masse volumique apparente :

	V de ballon (cm ³)	M de ballon vide (g)	Essai	V de ballon remplie (g)	V de sol net (g)	ρ_{app} (g/cm ³)	ρ_{app}^{moy} (g/cm ³)
Sable01	1000	2396	1	3710	1314	1,314	1,31
			2	3711	1315	1,315	
			3	3710	1314	1,314	
Sable02			1	3882	1486	1,486	1,48
			2	3860	1464	1,464	
			3	3880	1484	1,484	
Sable03			1	3785	1389	1,389	1,39
			2	3790	1394	1,394	
			3	3780	1384	1,384	

II.2.1.2 Masse volumique absolue :

La masse volumique absolue ρ_s est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains[Ghomari et Bendi-Ouis, 2008].

La masse volumique absolue est :

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_2 - V_1} \quad (\text{II.2})$$

ρ_s = masse volumique absolue du sol (g/cm^3)

M_s = masse des solides sec (g)

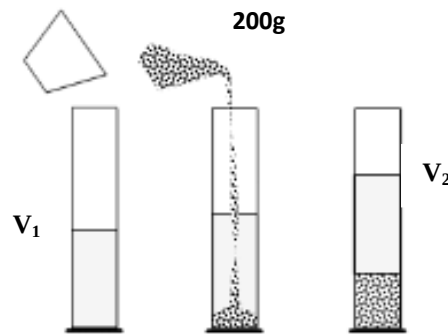
La masse volumique réelle (absolue) des éléments constituant le sol est fonction du type de matériaux [www.grr.ulaval.ca]:

- ❖ 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

Description de l'essai :

Cette méthode est très simple et très rapide. Toutefois sa précision est faible [Ghomari et Bendi-Ouis, 2008].

1. Remplir une éprouvette graduée avec un volume V_1 d'eau.
2. Peser un échantillon sec M de granulats (200 g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
3. Lire le nouveau volume V_2 .



Fig(II.2) : L'essai de la masse volumique absolue

Résultat de l'essai :

Tableau (II.2) : résultat de l'essai de masse volumique absolue

	M sec (g)	V_1 (ml)	V_2 (ml)	masse volumique absolue (g/cm^3)
Sable01	200	500	575	2,67
Sable02	200	500	580	2,50
Sable03	200	500	578	2,56

II.2.2 Analyse granulométrique:

L'analyse granulométrique consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant un granulat dont les dimensions sont comprises entre 6.3 et 0.08 mm. On appelle :

- REFUS sur un tamis : la quantité de matériau qui est retenue sur le tamis.
- TAMISAT (ou passant) : la quantité de matériau qui passe à travers le tamis.

II.2.2.1 Principe de l'essai :

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les dimensions de mailles et le nombre de tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue.

Les masses des différents refus ou celles des différents tamisats sont rapportées à la masse initiale du matériau, les pourcentages ainsi obtenus sont exploités, soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe granulométrique)[www.idropproject.com].

II.2.2.2 Description de l'essai :

Le matériau séché, de masse M , est versé sur une série de tamis choisis de telle manière que la progression des ouvertures soit croissante du bas de la colonne vers le haut. On considère que le tamisage est terminé lorsque les refus ne varient pas de plus de 1% entre deux séquences de variations de la tamiseuse.

II.2.2.3 Résultat de l'essai :

Peser le refus du tamis ayant la plus grande maille R_1 la masse de ce refus.

- ✓ Poursuivre la même opération avec tous les tamis de la colonne pour obtenir les masses des différents refus cumulés R_n
- ✓ Les masses des différents refus cumulés R_n sont rapportées à la masse totale de l'échantillon $M = 3000$ g.
- ✓ Les pourcentages de refus cumulés ainsi obtenus, sont inscrits sur la feuille d'essai. Le pourcentage des tamisats cumulés sera déduit.
- ✓ Pour accepté le résultat, il faut la perte $< 2\%$

On a:

$$S = R_n + P$$

Avec:

S: la Somme des refus partiels.

R_n : les masses des différents refus cumulés

P : le reste de refus du tamis.

M : la masse total d'échantillon

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



Fig(II.3) : Série de tamis et agitateur utilisés pour l'analyse granulométrique

II.2.2.4 Coefficients d'uniformité et de courbure :

On utilise habituellement les coefficients d'uniformité (C_u) et de courbure (C_c) pour décrire la forme des courbes granulométriques. Ces coefficients sont significatifs dans le cas de sols moins de 10% des particules passent le tamis de 80 μm ; dans les autres cas, ils présentent beaucoup moins d'intérêt.

Le coefficient d'uniformité :

On le définit à l'aide de l'équation suivante :

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (\text{II.4})$$

Ou :

- D_{10} : diamètre effectif des particules qui correspond à 10% du passant
- D_{60} : diamètre effectif des particules qui correspond à 60% du passant

Selon la valeur du coefficient d'uniformité, on reconnaît cinq classes de granulométrie [Robitaille, 1997] :

Chapitre II : Matériels et méthodes

- ✓ $C_u \leq 2$ 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.

Le coefficient de courbure :

On le définit à l'aide de l'équation suivante :

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \quad (\text{II.5})$$

Ou :

- D_{30} : diamètre effectif des particules qui correspond à 30% du passant

Le résultat de l'analyse granulométrique de 3 types de sables 1,2 et 3 est représenté dans les tableaux suivants :

Tableau(II.3) : Résultats de l'analyse granulométrique de sable 1 :

Tamis (mm)	Poids refus partiel(kg)	Poids refus partiel(g)	Poids refus cumulé(g)	Poids refus cumulé(%)	Tamisât (%)
2	0,005	4,500	4,500	0,150	99,850
1,6	0,001	0,600	5,100	0,170	99,830
1,25	0,002	1,600	6,700	0,223	99,777
1	0,007	6,800	13,500	0,450	99,550
0,8	0,025	25,100	38,600	1,287	98,713
0,63	0,144	144,300	182,900	6,097	93,903
0,5	0,150	149,900	332,800	11,093	88,907
0,4	0,373	373,400	706,200	23,540	76,460
0,315	0,728	727,600	1433,800	47,793	52,207
0,25	0,702	702,000	2135,800	71,193	28,807
0,2	0,405	405,000	2540,800	84,693	15,307
0,16	0,209	209,000	2749,800	91,660	8,340
0,125	0,116	116,100	2865,900	95,530	4,470
0,1	0,041	40,500	2906,400	96,880	3,120
0,08	0,017	17,300	2923,700	97,457	2,543
<0,08	0,028	27,700	2951,400	98,380	1,620

On a :

$S = 2951.4 \text{ g}$

La perte = $1.6\% < 2\%$

Donc le résultat de tamisage est acceptable.

Tableau(II.4) : Résultats de l'analyse granulométrique de sable 2 :

Tamis (mm)	Poids refus partiel(kg)	Poids refus partiel(g)	Poids refus cumulé(g)	Poids refus cumulé(%)	Tamisât (%)
6,3	0,018	18,000	18,000	0,600	98,000
5	0,034	34,000	52,000	1,733	95,333
4	0,034	34,000	86,000	2,867	93,267
3,15	0,024	24,000	110,000	3,667	91,733
2,5	0,022	22,000	132,000	4,400	90,067
2	0,018	18,000	150,000	5,000	88,733
1,6	0,020	20,000	170,000	5,667	87,267
1,25	0,022	22,000	192,000	6,400	85,667
1	0,030	30,000	222,000	7,400	83,200
0,8	0,042	42,000	264,000	8,800	80,200
0,63	0,116	116,000	380,000	12,667	72,733
0,5	0,102	102,000	482,000	16,067	67,267
0,4	0,224	224,000	706,000	23,533	57,867
0,315	0,410	410,000	1116,000	37,200	45,333
0,25	0,556	556,000	1672,000	55,733	29,867
0,2	0,612	612,000	2284,000	76,133	16,200
0,16	0,328	328,000	2612,000	87,067	9,600
0,125	0,200	200,000	2812,000	93,733	4,533
0,1	0,076	76,000	2888,000	96,267	3,000
0,08	0,030	30,000	2918,000	97,267	2,333
<0,08	0,042	42,000	2960,000	98,667	0,867

On a :

S = 2960 g

La perte = 1.3% < 2%

Donc le résultat de tamisage est acceptable.

Tableau(II.5) : Résultats de l'analyse granulométrique de sable 3 :

Tamis (mm)	Poids refus partiel(kg)	Poids refus partiel(g)	Poids refus cumulé(g)	Poids refus cumulé(%)	Tamisât (%)
6,3	0,013	12,648	12,648	0,422	99,578
5	0,041	40,641	53,289	1,776	98,224
4	0,052	52,266	105,555	3,519	96,482
3,15	0,050	50,406	155,961	5,199	94,801
2,5	0,058	57,753	213,714	7,124	92,876
2	0,046	45,756	259,470	8,649	91,351
1,6	0,044	44,268	303,738	10,125	89,875
1,25	0,045	44,547	348,285	11,610	88,391
1	0,075	74,772	423,057	14,102	85,898
0,8	0,076	75,516	498,573	16,619	83,381
0,63	0,218	218,271	716,844	23,895	76,105
0,5	0,157	156,705	873,549	29,118	70,882
0,4	0,299	299,274	1172,823	39,094	60,906
0,315	0,446	445,749	1618,572	53,952	46,048
0,25	0,463	463,047	2081,619	69,387	30,613
0,2	0,388	387,810	2469,429	82,314	17,686
0,16	0,185	185,349	2654,778	88,493	11,507
0,125	0,262	262,446	2917,224	97,241	2,759
0,1	0,029	29,016	2946,240	98,208	1,792
0,08	0,009	9,021	2955,261	98,509	1,491
<0,08	0,018	17,670	2972,931	99,098	0,902

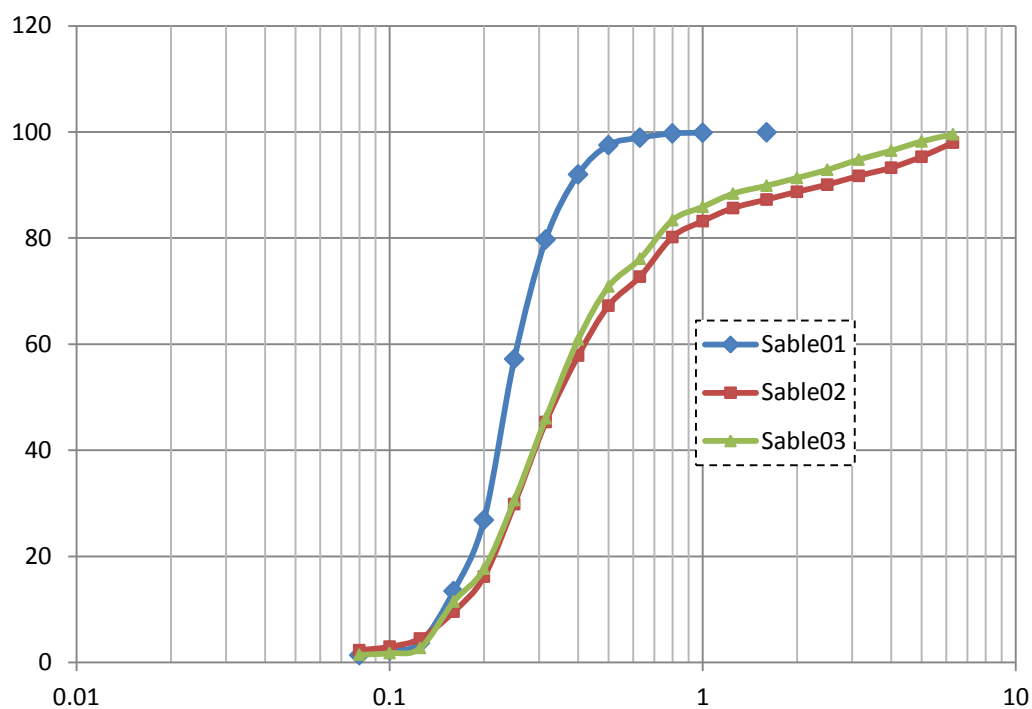
On a :

$S = 2972.931 \text{ g}$

La perte = $0.9\% < 2\%$

Donc le résultat de tamisage est acceptable

La courbe granulométrique de 3 types de sable 1, 2 et 3 :



Fig(II.4) : Courbes granulométriques

Tableau (II.6) : Les 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
Sable01	0,15	0,2	0,26	1,73	1,03	granulométrie très serrée	bien graduée bien répartie
Sable02	0,17	0,25	0,42	2,47	0,88	granulométrie serrée	graduée mal répartie
Sable03	0,16	0,25	0,40	2,50	0,98	granulométrie serrée	graduée mal répartie

II.2.3 Détermination de coefficient de perméabilité du matériau utilisé :

II.2.3.1 Coefficient de perméabilité horizontale :

Pour déterminer le coefficient de perméabilité horizontale on procède de la manière suivante (Figure II.4).

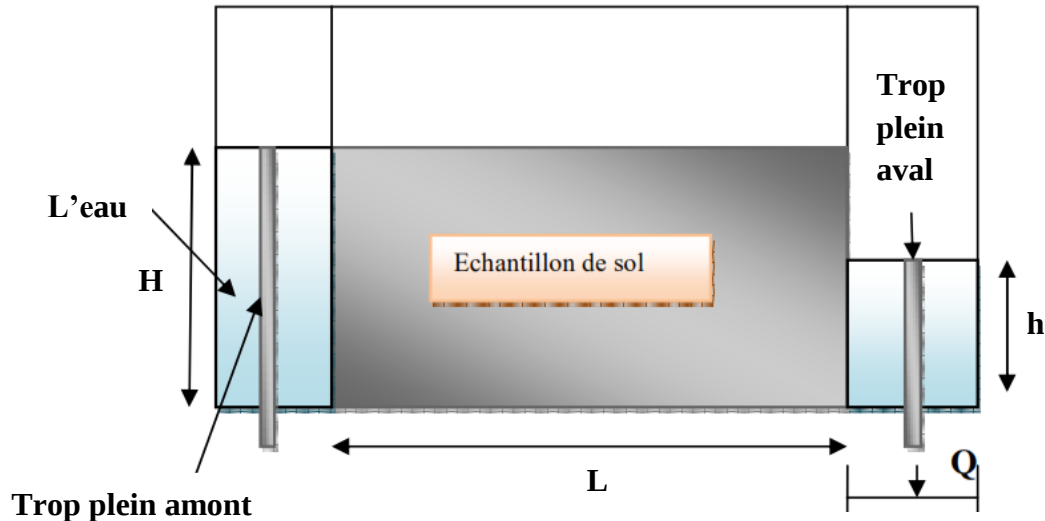


Fig (II.5) : Bassine de perméabilité[Amieur, 2012]

Q : le débit qui traverse l'échantillon (cm^3/s) ;

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

h : la hauteur de l'eau à l'aval (cm) ;

L : la longueur de l'échantillon (cm) ;

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 $H = 40\text{cm}$, $L = 40\text{cm}$.



Fig(II.6) : Bassine de perméabilité

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 :

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

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

Où :

Q_t : débit d'infiltration (cm^3/s) ;

Q_{20} : débit d'infiltration (cm^3/s) à $T=20^{\circ}\text{C}$;

ϑ_t : viscosité cinématique (Stokes) [$1\text{stokes}=10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$] ;

ϑ_{20} : viscosité cinématique à $T=20^{\circ}\text{C}$;

La viscosité cinématique est donnée par la relation suivante :

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

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

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

Avec :

Q : représente le débit qui traverse l'échantillon (cm^3/s) ;

K_h : coefficient de perméabilité horizontale (cm/s) ;

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

h : la hauteur de l'eau à l'aval (cm) ;

b : la largeur du bassin de perméabilité (cm) ;

L : la longueur de l'échantillon (cm) ;

Les mesures de débit pour chaque échantillon :

Chaque fois on mesure la quantité d'eau infiltrée Q (cm^3/s) à travers l'échantillon en fonction de la variation de la charge en aval.

Les résultats sont représentés dans les tableaux suivants :

Chapitre II : Matériels et méthodes

Tableau (II.7). Sable01 :

H (cm)	h (cm)	(H ² -h ²) (cm ²)	t (s)	V (cm ³)	T (c°)	Q (cm ³ /s)	Q moy (cm ³ /s)	Q ₂₀ (cm ³ /s)	Q ₂₀ moy (cm ³ /s)
40	10	1500	120	276,3	15,8	2,303	2,309	2,834	2,803
			240	557,5		2,323			
			360	829		2,303			
			120	274,9	15,8	2,291	2,260	2,773	
			240	537,8		2,241			
			360	809,3		2,248			
	15	1375	120	258,7	15,8	2,156	2,161	2,652	2,601
			240	517,6		2,157			
			360	781,5		2,171			
			120	254,5	16	2,121	2,100	2,550	
			240	497,8		2,074			
			360	758		2,106			
	20	1200	120	230,1	15,6	1,918	1,896	2,352	2,300
			240	453		1,888			
			360	677,8		1,883			
			120	221,1	16	1,843	1,853	2,249	
			240	449,9		1,875			
			360	662,7		1,841			
	25	975	120	186,6	15,6	1,555	1,563	1,939	1,885
			240	378,4		1,577			
			360	560,4		1,557			
			120	180,6	16	1,505	1,509	1,831	
			240	361,3		1,505			
			360	545,5		1,515			
	30	700	120	132,5	15,6	1,104	1,104	1,369	1,348
			240	262,4		1,093			
			360	401,1		1,114			
			120	132,4	16	1,103	1,093	1,327	
			240	262,4		1,093			
			360	390		1,083			
	35	375	120	67,8	15,6	0,565	0,549	0,682	0,674
			240	128,1		0,534			
			360	197,9		0,550			
			120	65,3	16	0,544	0,549	0,667	
			240	132,5		0,552			
			360	198,5		0,551			

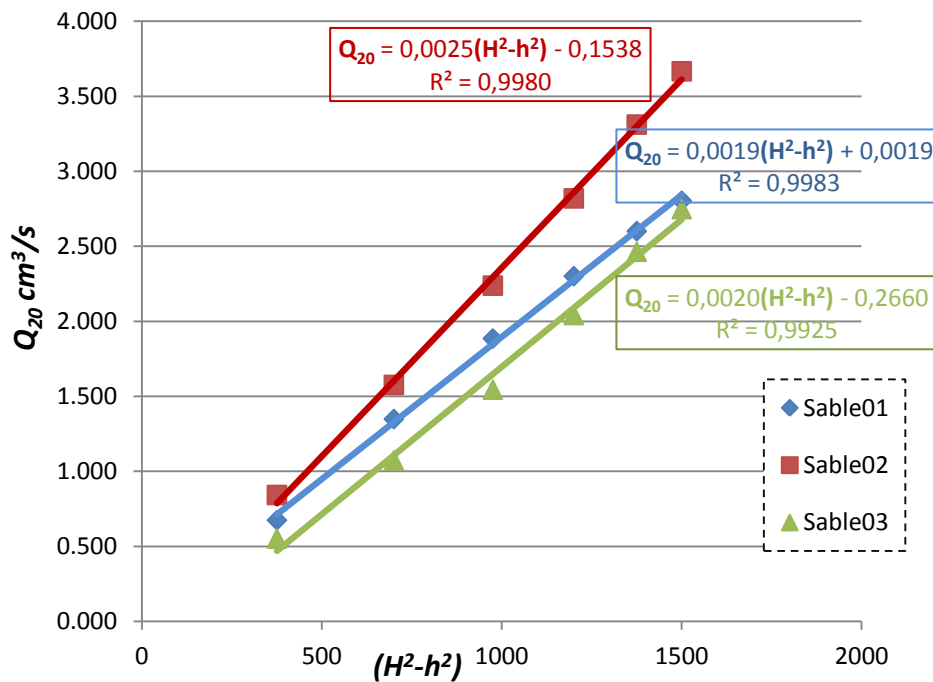
Tableau (II.8). Sable02 :

H (cm)	h (cm)	(H ² -h ²) (cm ²)	t (s)	V (cm ³)	T (c°)	Q (cm ³ /s)	Q moy (cm ³ /s)	Q ₂₀ (cm ³ /s)	Q ₂₀ moy (cm ³ /s)
40	10	1500	120	359,8	15,4	2,998	2,962	3,714	3,666
			240	706,8		2,945			
			360	1059,1		2,942			
			120	344,3	15,4	2,869	2,885	3,618	
			240	697,5		2,906			
			360	1036,2		2,878			
	15	1375	120	322,8	15,4	2,690	2,647	3,320	3,311
			240	628		2,617			
			360	948,7		2,635			
			120	321,4	15,4	2,678	2,633	3,302	
			240	630,1		2,625			
			360	934,2		2,595			
	20	1200	120	277,7	15,4	2,314	2,282	2,862	2,819
			240	530,9		2,212			
			360	835,2		2,320			
			120	265,1	15,2	2,209	2,189	2,776	
			240	527,7		2,199			
			360	777,6		2,160			
	25	975	120	220,6	15,4	1,838	1,825	2,289	2,238
			240	439,9		1,833			
			360	649,8		1,805			
			120	207,9	15,2	1,733	1,724	2,186	
			240	409,9		1,708			
			360	623,2		1,731			
	30	700	120	151,9	15,4	1,266	1,284	1,610	1,576
			240	311,7		1,299			
			360	463,5		1,288			
			120	144,5	15,2	1,204	1,215	1,541	
			240	294		1,225			
			360	438,1		1,217			
	35	375	120	79,3	15,2	0,661	0,662	0,840	0,842
			240	161,8		0,674			
			360	234,7		0,652			
			120	82,2	15,2	0,685	0,666	0,844	
			240	155,7		0,649			
			360	239		0,664			

Tableau (II.9). Sable03 :

H (cm)	h (cm)	(H^2-h^2) (cm ²)	t (s)	V (cm3)	T (c°)	Q (cm ³ /s)	$Q\ moy$ (cm ³ /s)	Q_{20} (cm ³ /s)	$Q_{20}moy$ (cm ³ /s)
40	10	1500	120	255,5	15,4	2,129	2,130	2,671	2,748
			240	509,7		2,124			
			360	769		2,136			
			120	268	15,2	2,233	2,227	2,824	
			240	533,6		2,223			
			360	801,1		2,225			
	15	1375	120	226,3	15,4	1,886	1,881	2,359	2,463
			240	453,7		1,890			
			360	672		1,867			
			120	243,6	15,2	2,030	2,025	2,567	
			240	483,8		2,016			
			360	730		2,028			
	20	1200	120	179,9	15,4	1,499	1,536	1,926	2,042
			240	367,9		1,533			
			360	567,1		1,575			
			120	207,2	15,2	1,727	1,701	2,157	
			240	412,3		1,718			
			360	597,1		1,659			
	25	975	120	135,7	15,4	1,131	1,102	1,382	1,544
			240	253,7		1,057			
			360	402,3		1,118			
			120	161,1	15,2	1,343	1,346	1,707	
			240	317,2		1,322			
			360	494,6		1,374			
	30	700	120	92,1	15,2	0,768	0,752	0,953	1,073
			240	180,3		0,751			
			360	265,2		0,737			
			120	111	14,8	0,925	0,919	1,192	
			240	217,2		0,905			
			360	333,9		0,928			
	35	375	120	44,5	15,2	0,371	0,396	0,502	0,551
			240	107,8		0,449			
			360	132,4		0,368			
			120	55,1	14,8	0,459	0,463	0,600	
			240	108,3		0,451			
			360	171,9		0,478			

Présentation des courbes $Q_{20} = f(H^2 - h^2)$



Fig(II.7) : Courbe de $f(x)=Q_{20}(H^2 - h^2)$

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

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

A est la pente (la tangente).

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

On déduit la tangente de chaque courbe :

- **Sable01** : $A=0.0019 \Leftrightarrow K_h = 1.5 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$
- **Sable02** : $A=0.0025 \Leftrightarrow K_h = 2 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$
- **Sable03** : $A=0.0020 \Leftrightarrow K_h = 1.6 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$

II.2.3.2 Coefficient de 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 la quelle se produit l'écoulement suivant l'ordre de grandeur de la perméabilité du sol étudié.

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.

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

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

Où :

Q: le débit dans l'échantillon (cm^3/s) ;

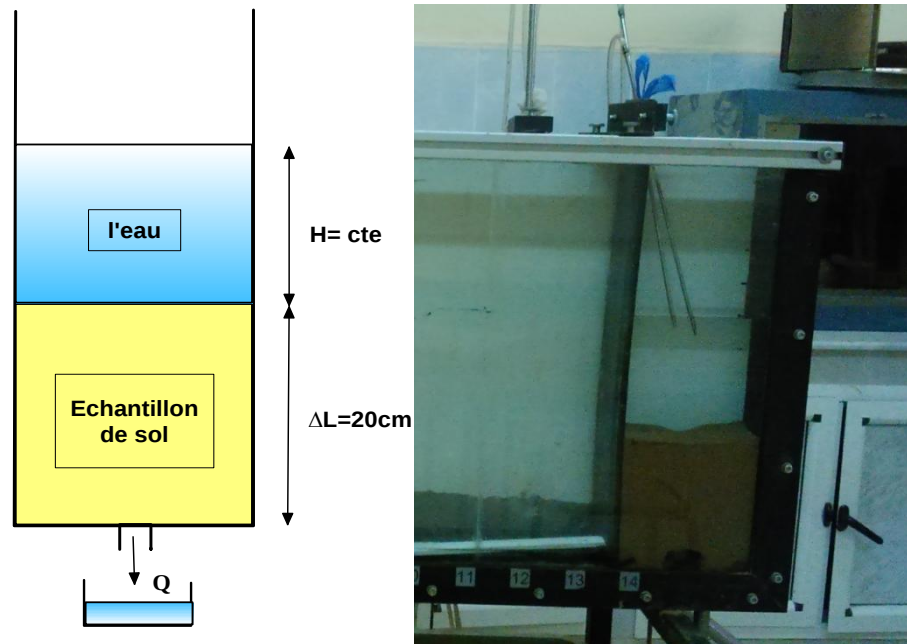
$\Delta H/\Delta L$: le gradient hydraulique ;

ΔL : la longueur de l'échantillon (cm) ;

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

Sachant que :

- $S = 200 \text{ cm}^2$;
- $\Delta L = 20 \text{ cm}$;



Fig(II.8) : Bassine de perméabilité

Les mesures de débit pour chaque échantillon :

La quantité d'eau infiltrée Q (cm^3/s) à travers l'échantillon en fonction de la variation de la charge est mesuré. Les résultats sont représentés dans les tableaux suivants :

Tableau (II.10). Sable01 :

ΔH (cm)	t (s)	V (cm3)	T (c°)	Q (cm³/s)	Q moy (cm³/s)	Q ₂₀ (cm³/s)	Q ₂₀ moy (cm³/s)
40	60	203	16	3,383	3,376	4,099	4,101
	120	413		3,442			
	240	792,8		3,303			
	60	202,8	16	3,380	3,381	4,104	
	120	408,2		3,402			
	240	806,4		3,360			
35	60	185,8	16	3,097	3,102	3,765	3,744
	120	373,3		3,111			
	240	743,3		3,097			
	60	184,3	16	3,072	3,066	3,722	
	120	370		3,083			
	240	730,5		3,044			
30	60	166,3	15,8	2,772	2,751	3,375	3,361
	120	326,6		2,722			
	240	662		2,758			
	60	168	16	2,800	2,757	3,347	
	120	328,9		2,741			
	240	655,1		2,730			
25	60	146,6	15,8	2,443	2,460	3,018	3,006
	120	296,9		2,474			
	240	590,9		2,462			
	60	148,4	16	2,473	2,467	2,994	
	120	296,9		2,474			
	240	588,5		2,452			
20	60	135,1	15,8	2,252	2,182	2,678	2,673
	120	257,5		2,146			
	240	515,8		2,149			
	60	130	16	2,167	2,198	2,669	
	120	266,1		2,218			
	240	530,5		2,210			
15	60	110,5	15,8	1,842	1,834	2,251	2,262
	120	222,5		1,854			
	240	433,7		1,807			
	60	114,4	16,2	1,907	1,893	2,274	
	120	228,2		1,902			
	240	449		1,871			

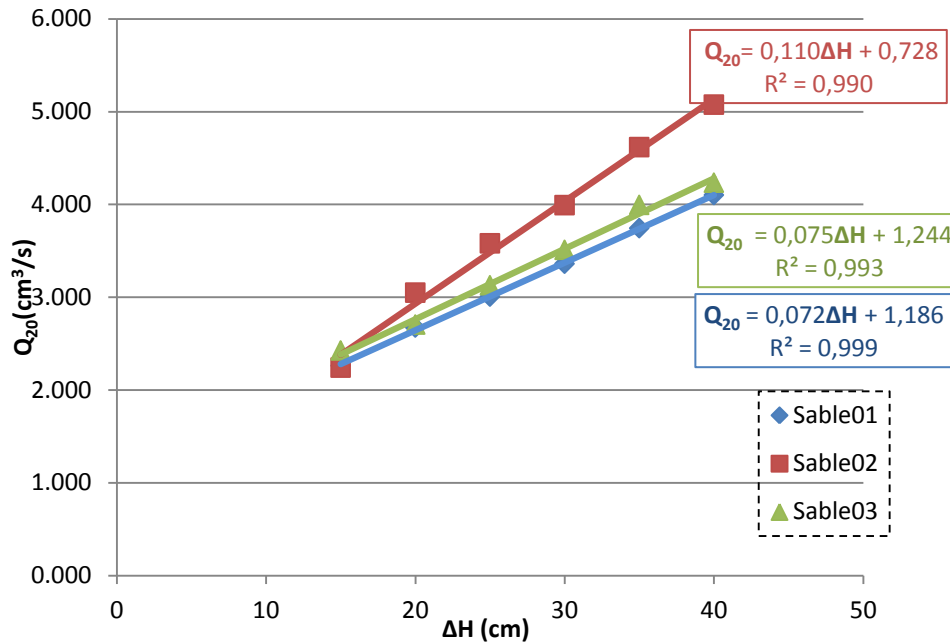
Tableau (II.11). Sable02 :

ΔH (cm)	t (s)	V (cm ³)	T (c°)	Q (cm ³ /s)	Q moy (cm ³ /s)	Q ₂₀ (cm ³ /s)	Q ₂₀ moy (cm ³ /s)
40	60	253,3	14,7	4,222	4,068	5,306	5,075
	120	484,4		4,037			
	240	946,6		3,944			
	60	243,3	16	4,055	3,991	4,844	
	120	478,4		3,987			
	240	943,2		3,930			
35	60	220	14,6	3,667	3,605	4,730	4,617
	120	433,2		3,610			
	240	849,5		3,540			
	60	222,3	16	3,705	3,711	4,505	
	120	448,9		3,741			
	240	884,6		3,686			
30	60	182,3	14,6	3,038	3,073	4,032	3,992
	120	373		3,108			
	240	737,6		3,073			
	60	194,4	16	3,240	3,255	3,952	
	120	393,9		3,283			
	240	778,4		3,243			
25	60	163,1	14,6	2,718	2,657	3,485	3,580
	120	320,7		2,673			
	240	618,9		2,579			
	60	185,3	16	3,088	3,028	3,676	
	120	360,6		3,005			
	240	717,7		2,990			
20	60	136,5	15,6	2,275	2,240	2,779	3,049
	120	271,5		2,263			
	240	524		2,183			
	60	169	16,2	2,817	2,763	3,319	
	120	331,1		2,759			
	240	651,2		2,713			
15	60	111,4	15,6	1,857	1,854	2,300	2,241
	120	225,4		1,878			
	240	438,5		1,827			
	60	107	15,6	1,783	1,759	2,182	
	120	213,8		1,782			
	240	411,1		1,713			

Tableau (II.12). Sable03 :

ΔH (cm)	t (s)	V (cm ³)	T (c°)	Q (cm ³ /s)	Q moy (cm ³ /s)	Q ₂₀ (cm ³ /s)	Q ₂₀ moy (cm ³ /s)
40	60	215,7	16,8	3,595	3,583	4,172	4,234
	120	425,5		3,546			
	240	866,3		3,610			
	60	213,6	16	3,560	3,539	4,296	
	120	425,5		3,546			
	240	842,4		3,510			
35	60	197,2	15,2	3,287	3,335	4,229	3,995
	120	403,4		3,362			
	240	805,4		3,356			
	60	186,3	16	3,105	3,098	3,761	
	120	372,3		3,103			
	240	740,7		3,086			
30	60	184	15,4	3,067	3,037	3,808	3,510
	120	359,4		2,995			
	240	731,6		3,048			
	60	158,4	16	2,640	2,646	3,212	
	120	322,4		2,687			
	240	626,9		2,612			
25	60	167,9	15,6	2,798	2,708	3,359	3,129
	120	320,7		2,673			
	240	636,8		2,653			
	60	145	16,2	2,417	2,413	2,898	
	120	296,5		2,471			
	240	564,2		2,351			
20	60	140,4	16	2,340	2,323	2,820	2,705
	120	277,8		2,315			
	240	555,6		2,315			
	60	133	16,4	2,217	2,179	2,590	
	120	256,6		2,138			
	240	523,7		2,182			
15	60	121,6	16	2,027	2,030	2,464	2,426
	120	245,9		2,049			
	240	483,1		2,013			
	60	119	16,2	1,983	1,988	2,388	
	120	240,8		2,007			
	240	473,7		1,974			

Le traçages de courbe $Q_{20} = f(\Delta H)$:



Fig(II.9) : Courbe de $f(x)=Q_{20}(\Delta H)$

On détermine graphiquement le coefficient de perméabilité vertical (figure II.8):

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

A est la pente (la tangente).

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

On déduit la tangente de chaque courbe :

- **Sable01** : $A=0.072 \Leftrightarrow K_v = 7.2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$;
- **Sable02** : $A=0.11 \Leftrightarrow K_v = 1.1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$;
- **Sable03**: $A=0.075 \Leftrightarrow K_v = 7.5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$.

II.3 Modélisation des barrages en terre sur une base perméable :

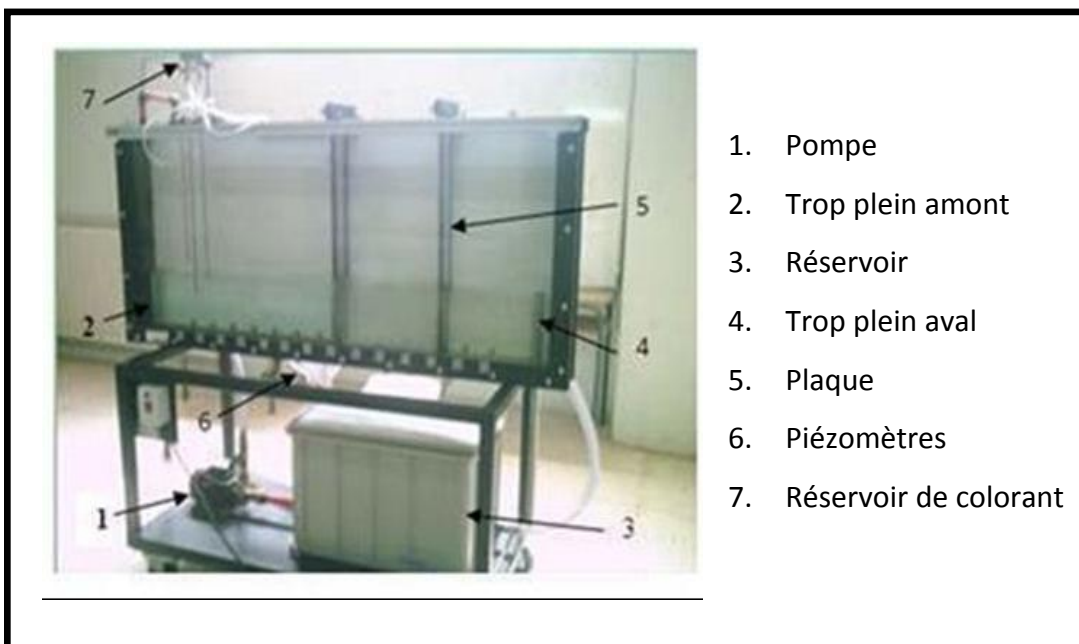
II.3.1 Principe:

Il s'agit d'étudier l'écoulement plan à travers un corps de barrage en terre et la base, mesurer ainsi le débit de fuite à travers le corps du barrage, et aussi déterminer la position de la surface libre, tout en constatant l'influence de la pente sur le débit de fuite et le niveau d'eau dans le drain.

On a construit un modèle réduit ; c'est un barrage en terre homogène avec un drain vertical sur différent type de base perméable. On a pour cela utilisé du sable01 pour le corps du barrage, de sable01, sable02 or sable03 pour la fondation.

II.3.2 Description du bassin de perméabilité:

Le bassin de perméabilité est un bassin en plexiglas de 150cm de longueur, 60cm de hauteur et 10cm de largeur. Une paroi latérale de ce bassin est transparente pour permettre de tracer les lignes d'écoulement et les lignes équipotentielles (Figure II.9). De l'autre côté il y a 14 piézomètres le long du bassin. Ce bassin est disposé sur une embase mobile elle contient une source d'alimentation continue en eau, ainsi un système d'évacuation. Des tuyaux de trop plein réglables règlent les niveaux d'eau en amont et en aval de la structure étudiée.



Fig(II.10) : Schéma du dispositif expérimental.

II.3.3 Constructions des modèles :

Notre projet consiste à étudier l'infiltration à travers le corps et la base des barrages en terre, pour cela il a fallu construire six modèles au laboratoire (trois modèles avec une crête constante et les autres avec un gradient hydraulique constant), ces modèles réduits sont:

Largeur de la crête constante (b = 6 cm);

- Modèle n°01 : Sable01 pour le corps et la base
- Modèle n°02 : Sable01 pour le corps et sable02 pour la base
- Modèle n°03 : Sable01 pour le corps et sable03 pour la base ;

Gradient hydraulique constant (la largeur de la crête est variable :

b = 6 cm, 9.5 cm, 13 cm, 16.5 cm)

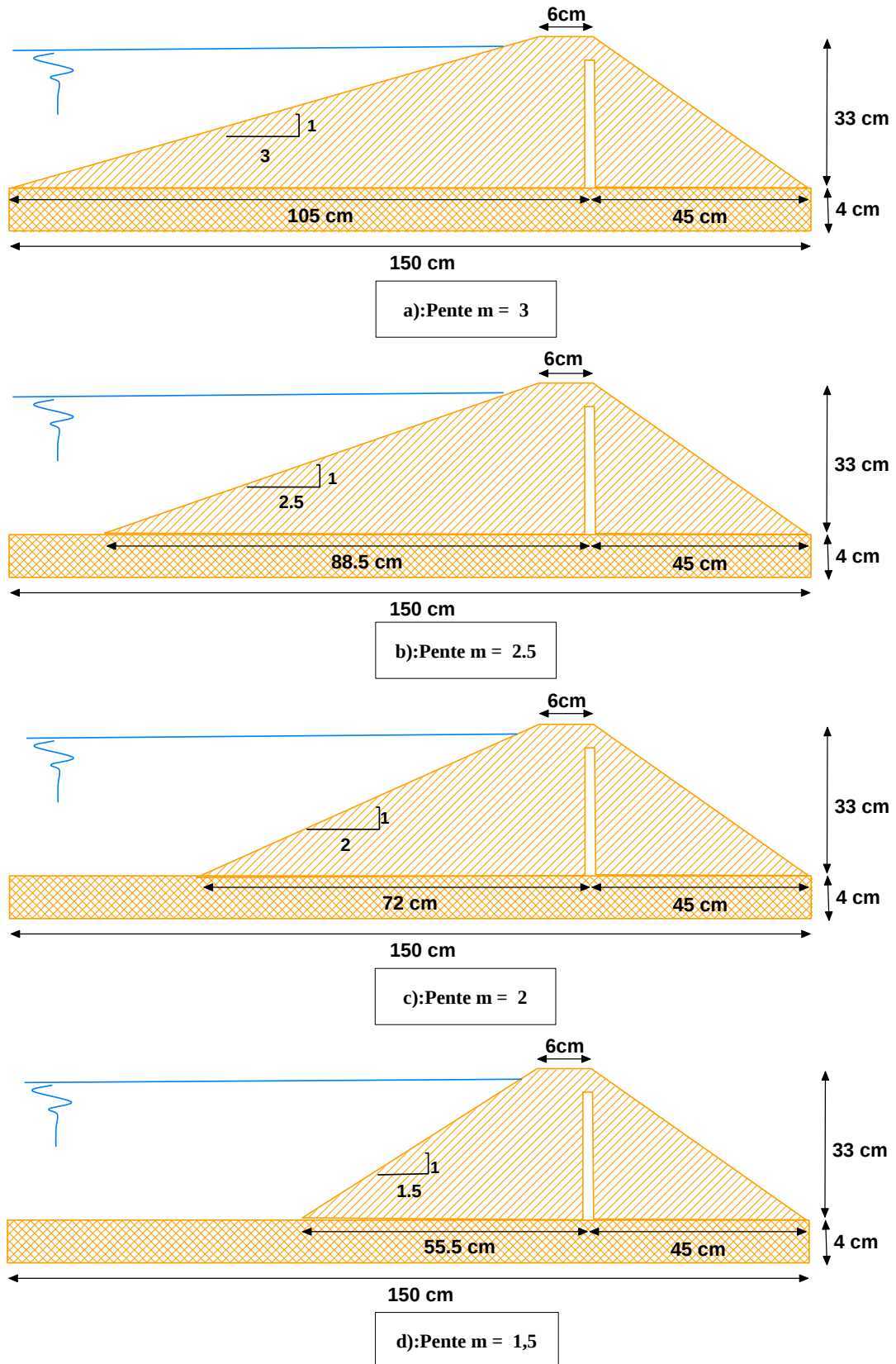
- Modèle n°04 : Sable01 pour le corps et la base ;
- Modèle n°05 : Sable01 pour le corps et sable02 pour la base ;
- Modèle n°06 : Sable01 pour le corps et sable03 pour la base.

II.3.4 Modèle expérimental :

Le modèle physique pour l'étude de l'infiltration à travers les barrages en terre a été entièrement conçu et réalisé au laboratoire du département de Génie Civil à l'université Laghouat. Celui-ci compose de:

- Un bassin de perméabilité formé de deux parois verticales en plexiglas parallèle ;
- Une source d'eau permettant l'alimentation du dispositif d'une façon permanente ;
- Des tubes de piézomètres pour la mesure des pressions le long du bassin ;
- Des trop-pleins pour l'évacuation des eaux et le maintien d'un niveau d'eau désiré ;
- Des plaques métalliques pour maintenir la forme du drain;
- D'un modèle du barrage en sable01 sur base perméable en sable01, sable02 ou sable03.

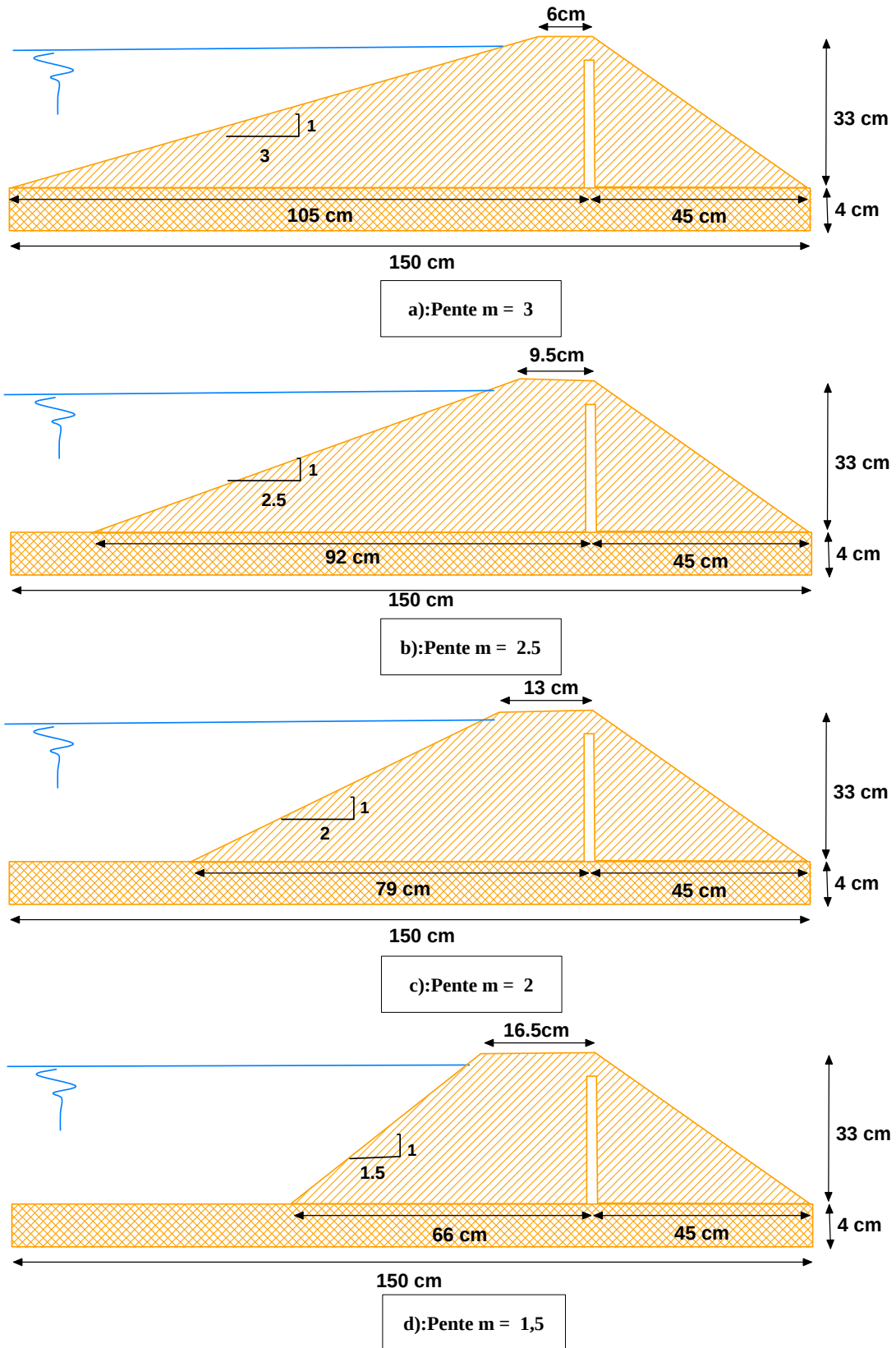
Les figures suivantes présentent les dimensions de chaque modèle 01, 02 et 03 :



Fig(II.11) : Les dimensions de modèle01,02 et03 pour les différentes pentes

Chapitre II : Matériels et méthodes

Les figures suivantes présentent les dimensions de chaque modèle 04, 05 et 06 :



Fig(II.12) : Les dimensions de modèle 04, 05 et 06 pour les différentes pentes

II.4 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les équipements et le montage expérimental ainsi qu'à la description de matériaux utilisés et leurs différentes propriétés physiques tels que la distribution granulométrique, masse volumique et la perméabilité du sol. Les modèles expérimentaux étudiés consistent en un modèle réduit d'un barrage en terre homogène sur trois types de base à sable différentes (sable01, sable02 et sable03). Ces modèles réduits sont utilisés pour étudier le comportement hydraulique des barrages en terre suite à l'action de l'infiltration. Les résultats obtenus, leur exploitation et leur interprétation sont présentées dans le chapitre suivant.

Chapitre III :

Résultats et recommandati ons

III.1 Introduction :

Rappelons que ce travail a pour objectifs principaux d'examiner l'influence des conditions hydrauliques sur le processus d'infiltration et de drainage dans les barrages en terre homogènes avec un drain cheminé. Les conditions hydromécaniques sont modulées en variant la charge d'eau, la pente du talus en amont et la nature du sol de fondation. Les quantités d'eau infiltré à travers la base et drainé par le drain sont quantifiées. Les résultats sont interprétés sur la base des connaissances disponibles dans ce domaine.

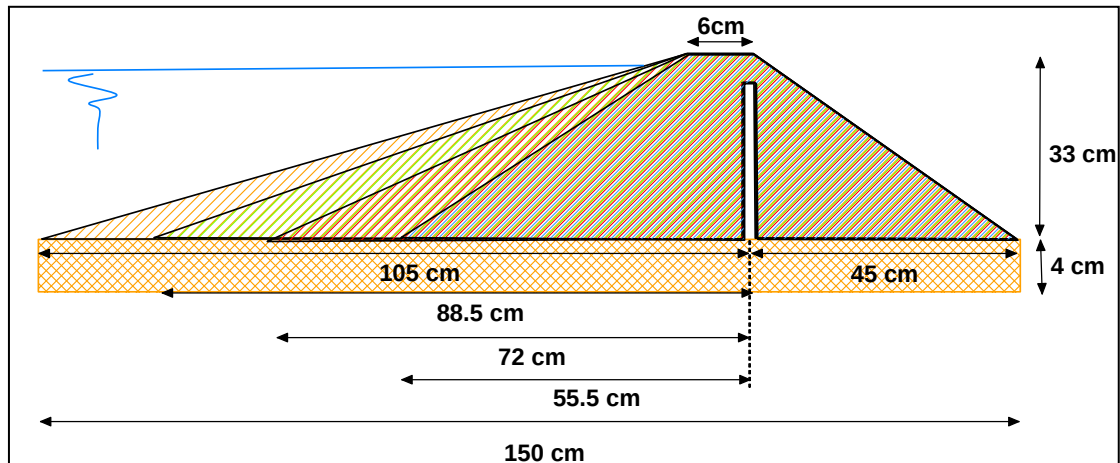
Donc, dans le cadre de ce travail de recherche ,deux Millier -trois cent-quatre (2304) expériences ont été réalisées sur 6 modèles et à chaque modèle il y a 4 pentes ($n=3.0, 2.5, 2.0, 1.5$) et pour chaque pente on a réalisé 16 essais et chaque essai est répété 3 fois en mesurant de débit de la base et du drain. Le volet expérimental de ce travail s'est déroulé sur une période de quatre mois, dont la première a été dédiée à la préparation des matériaux, des installations du montage, déterminer et étudier les différents paramètres physiques et géométriques des échantillons utilisés. Le reste du temps a été employé pour réaliser les essais de mesure sur les modèles réduits.

Tableau(III.1) : Nombre d'essai

type du modèle	$\frac{K_h b}{K_h c}=1$ (b=6)	$\frac{K_h b}{K_h c}=1.1$ (b=6)	$\frac{K_h b}{K_h c}=1.3$ (b=6)	$\frac{K_h b}{K_h c}=1$ (b=6;9.5;13;16.5)	$\frac{K_h b}{K_h c}=1.1$ (b=6;9.5;13;16.5)	$\frac{K_h b}{K_h c}=1.3$ (b=6;9.5;13;16.5)	TOTAL =
N d'essai	384	384	384	384	384	384	2304

Tab(III.1) : N d essai dans ce travail

III.2 Barrage à crête constante($b=6\text{cm}$):



Fig(III.1) : schéma du barrage à crête constaté et une pente varie



Fig(III.2) : barrage en terre avec un drain vertical

III.2.1 Détermination expérimental du débit d'infiltration à travers la base :

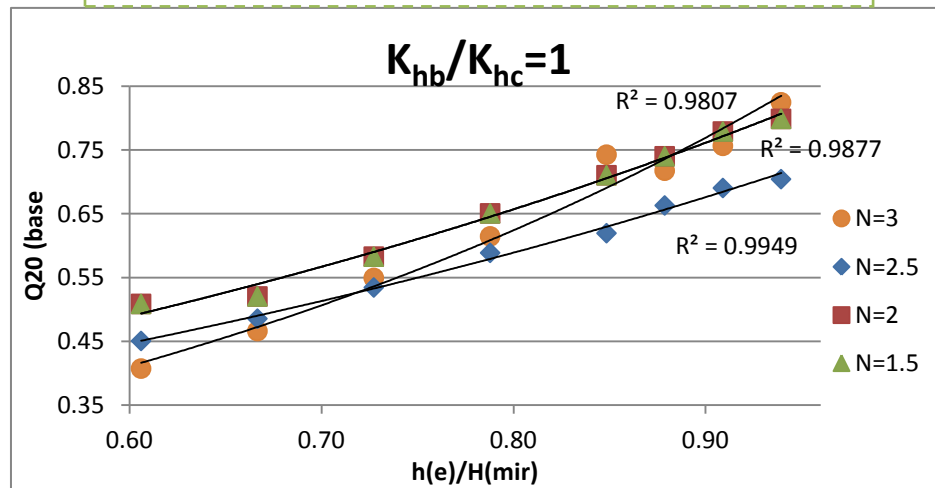
III.2.1.1 Modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1$:

Ce modèle de la fig (III.2) est un modèle réduit d'un barrage en terre homogène avec un drain vertical, tel que $K_h c$ est la perméabilité horizontale du corps du barrage, $K_h b$ est la perméabilité horizontale de la fondation.

D'après l'expérience effectuée au laboratoire de l'hydraulique, quelques hauteurs ont été choisies pour déterminer les débits d'infiltration, les résultats sont portés dans les tableaux ci-dessous pour le modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1$ Fig (III.3):

Pente	n= 3	n=2.5	n= 2	n=1.5
$h(e)/H(\text{mur})$	Q_{20} (cm^3/s)	Q_{20} (cm^3/s)	Q_{20} (cm^3/s)	Q_{20} (cm^3/s)
0.61	0.263	0.331	0.351	0.385
0.67	0.289	0.358	0.382	0.425
0.73	0.314	0.395	0.406	0.463
0.79	0.353	0.437	0.445	0.500
0.85	0.391	0.475	0.477	0.531
0.88	0.412	0.494	0.497	0.601
0.91	0.433	0.512	0.511	0.633
0.94	0.456	0.535	0.526	0.657

Tab(III.2) : les débits de la base pour le modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1$



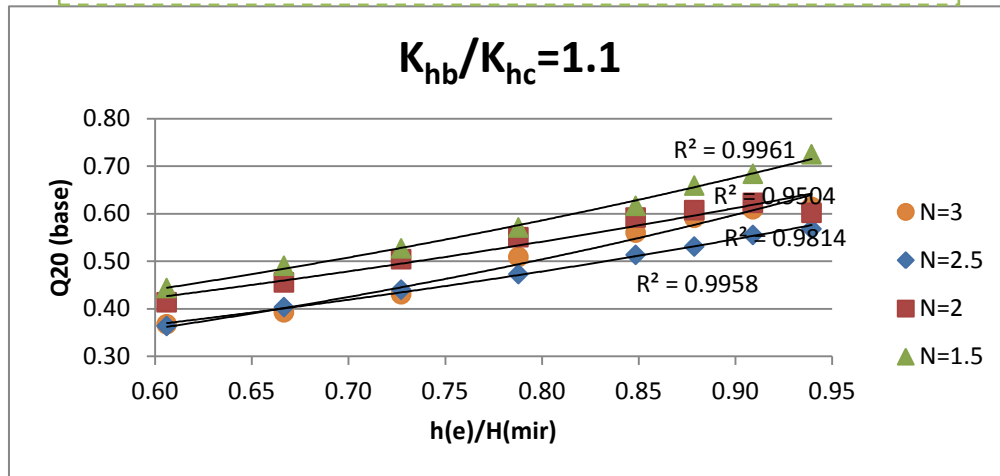
Fig(III.3) : les débits de la base pour le modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1$

III.2.1.2 Modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1.1$:

Le deuxième modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1.1$ fig. (III.4) est un modèle réduit d'un barrage en terre constitue d'un drain vertical.

Pente	n= 3	n=2.5	n= 2	n=1.5
h(e)/H(mur)	Q20 (cm ³ /s)	Q20 (cm ³ /s)	Q20 (cm ³ /s)	Q20 (cm ³ /s)
0.61	0.367	0.364	0.414	0.444
0.67	0.393	0.403	0.455	0.491
0.73	0.431	0.440	0.504	0.527
0.79	0.509	0.473	0.551	0.571
0.85	0.560	0.513	0.592	0.617
0.88	0.591	0.531	0.607	0.659
0.91	0.609	0.555	0.623	0.684
0.94	0.614	0.568	0.602	0.725

Tab(III.3) : les débits de la base pour le modèle $\frac{K_{hb}}{K_{hc}}=1.1$



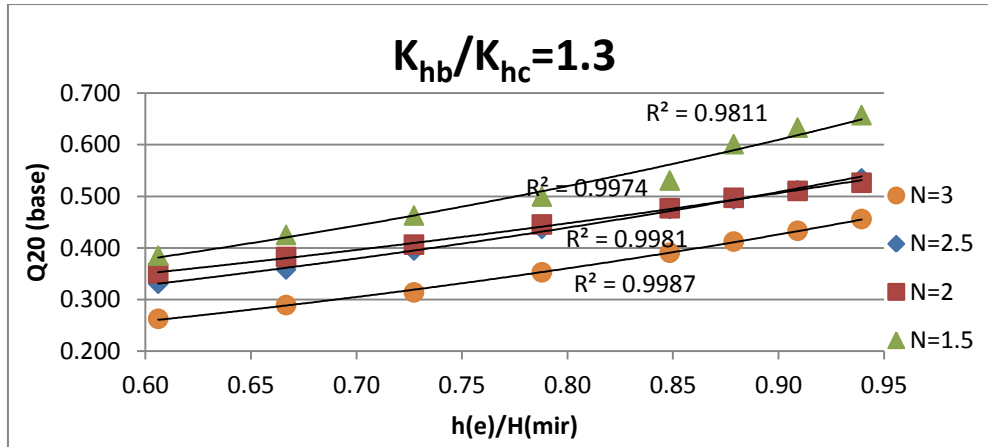
Fig(III.4) : les débits de la base pour le modèle $\frac{K_{hb}}{K_{hc}}=1.1$

III.2.1.3 Modèle $\frac{K_{hb}}{K_{hc}}=1.3$:

Le troisième modèle $\frac{K_{hb}}{K_{hc}}=1.3$ fig. (III.5) est un modèle réduit d'un barrage en terre constitué d'un drain vertical.

penste	n= 3	n=2.5	n= 2	n=1.5
h(e)/H(mur)	Q ₂₀ (cm ³ /s)	Q ₂₀ (cm ³ /s)	Q ₂₀ (cm ³ /s)	Q ₂₀ (cm ³ /s)
0.61	0.407	0.451	0.509	0.540
0.67	0.466	0.486	0.521	0.592
0.73	0.550	0.535	0.583	0.656
0.79	0.615	0.589	0.651	0.707
0.85	0.743	0.620	0.711	0.754
0.88	0.718	0.663	0.740	0.787
0.91	0.757	0.691	0.779	0.841
0.94	0.825	0.704	0.799	0.869

Tab(III.4) : les débits de la base pour le modèle $\frac{K_{hb}}{K_{hc}}=1.3$



Fig(III.5) : les débits de la base pour le modèle $\frac{K_{hb}}{K_{hc}} = 1.3$

Commentaire :

D'après les graphes précédents on constate que :

Le débit d'infiltration à travers la fondation augmente avec l'augmentation des charges d'eau en amont et la diminution de la pente quelque soit le changement du rapport de la perméabilité. Donc on peut conclure, pour limiter la perte à travers la fondation, il faut augmenter la pente amont d'une part et diminuer la perméabilité de la fondation d'autre part. Ceci s'explique par le fait que l'augmentation de la pente et diminution de la perméabilité augmente la résistance à l'infiltration.

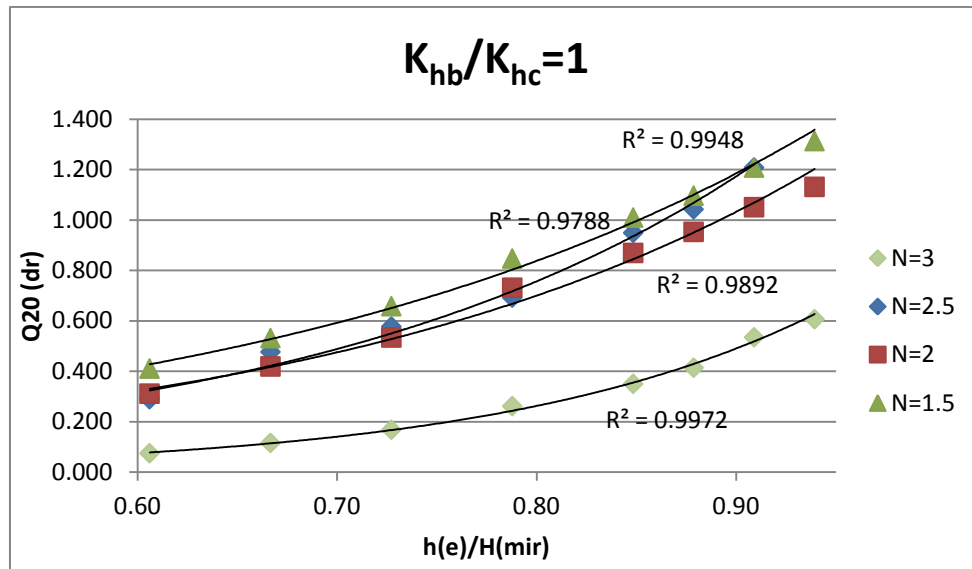
III.2.2 Détermination expérimental du débit d'infiltration à travers le barrage :

III.2.2.1 Modèle $\frac{K_{hb}}{K_{hc}} = 1$:

Le 1^{er} modèle $\frac{K_{hb}}{K_{hc}} = 1$ fig. (III.6) est un modèle réduit d'un barrage en terre constitué d'un drain vertical.

pente	n= 3	n=2.5	n= 2	n=1.5
$h(e)/H(\text{mur})$	Q_{20} (cm ³ /s)	Q_{20} (cm ³ /s)	Q_{20} (cm ³ /s)	Q_{20} (cm ³ /s)
0.61	0.075	0.289	0.311	0.411
0.67	0.116	0.477	0.419	0.531
0.73	0.168	0.578	0.534	0.658
0.79	0.262	0.692	0.732	0.847
0.85	0.350	0.949	0.869	1.010
0.88	0.414	1.043	0.953	1.097
0.91	0.535	1.208	1.051	1.208
0.94	0.607	0.000	1.132	1.313

Tab(III.5) : les débits du drain pour le modèle $\frac{K_{hb}}{K_{hc}} = 1$



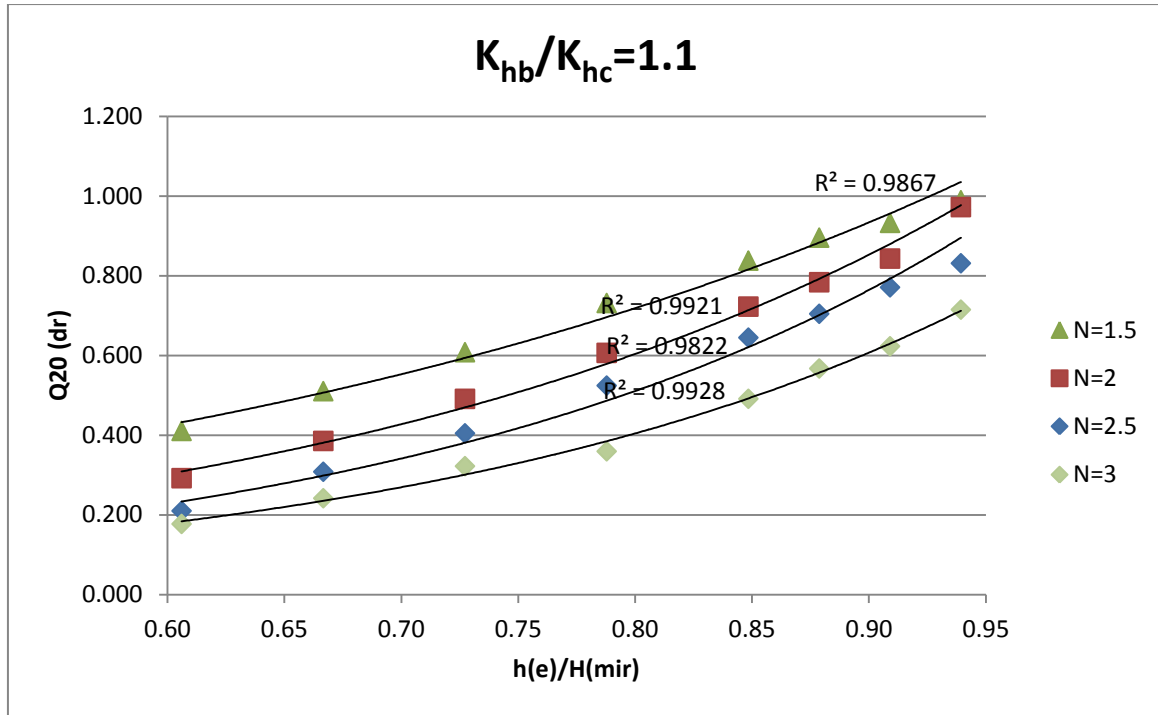
Fig(III.6) : les débits du drain pour le modèle $\frac{K_{hb}}{K_{hc}}=1$

III.2.2.2 Modèle $\frac{K_{hb}}{K_{hc}}=1.1$:

Le deuxième modèle $\frac{K_{hb}}{K_{hc}}=1.1$ fig. (III.7) est un modèle réduit d'un barrage en terre constitué d'un drain vertical.

pen	n= 3	n=2.5	n= 2	n=1.5
h(e)/H(mur)	Q ₂₀ (cm ³ /s)	Q ₂₀ (cm ³ /s)	Q ₂₀ (cm ³ /s)	Q ₂₀ (cm ³ /s)
0.61	0.177	0.210	0.292	0.411
0.67	0.242	0.308	0.385	0.510
0.73	0.322	0.405	0.491	0.608
0.79	0.359	0.524	0.606	0.732
0.85	0.491	0.645	0.723	0.838
0.88	0.567	0.705	0.784	0.896
0.91	0.623	0.771	0.843	0.933
0.94	0.715	0.831	0.972	0.989

Tab(III.6) : les débits du drain pour le modèle $\frac{K_{hb}}{K_{hc}}=1.1$



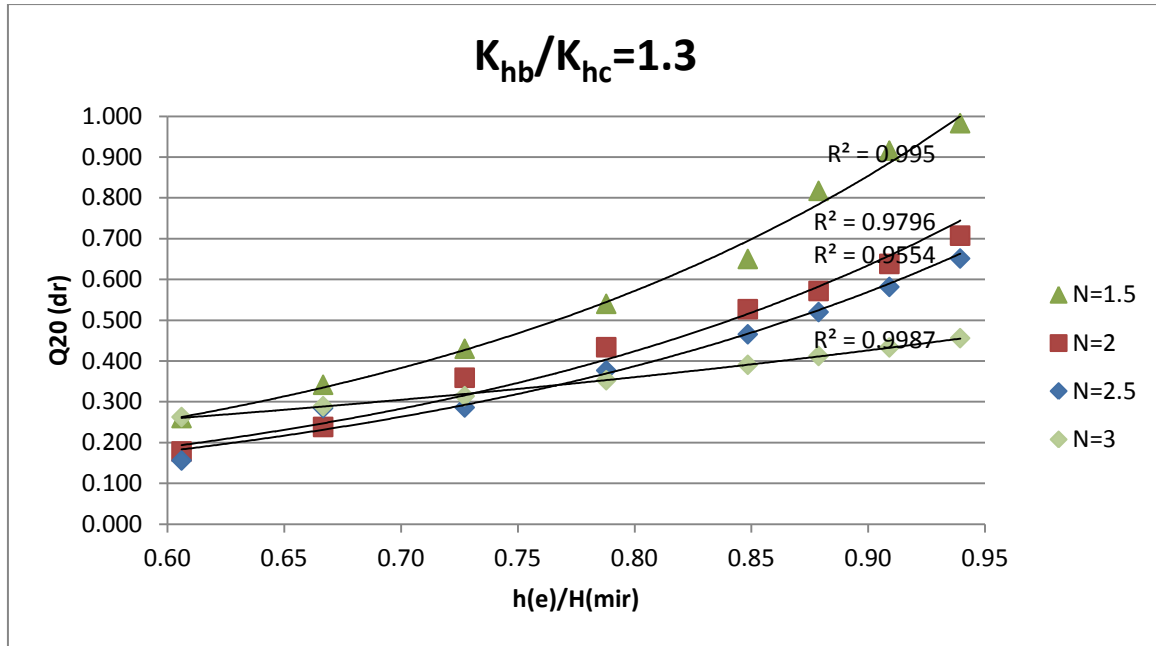
Fig(III.7) : les débits du drain pour le modèle $\frac{K_{hb}}{K_{hc}}=1.1$

III.2.2.3 Modèle $\frac{K_{hb}}{K_{hc}}=1.3$:

Le troisième modèle $\frac{K_{hb}}{K_{hc}}=1.3$ fig. (III.8) est un modèle réduit d'un barrage en terre constitué d'un drain vertical.

penste	n= 3	n=2.5	n= 2	n=1.5
h(e)/H(mur)	Q_{20} (cm ³ /s)	Q_{20} (cm ³ /s)	Q_{20} (cm ³ /s)	Q_{20} (cm ³ /s)
0.61	0.113	0.156	0.178	0.260
0.67	0.165	0.285	0.238	0.342
0.73	0.208	0.286	0.359	0.430
0.79	0.294	0.377	0.434	0.540
0.85	0.390	0.466	0.527	0.650
0.88	0.454	0.520	0.572	0.817
0.91	0.495	0.582	0.638	0.916
0.94	0.636	0.651	0.707	0.983

Tab(III.7) : les débits du drain pour le modèle $\frac{K_{hb}}{K_{hc}}=1.3$



Fig(III.8) : les débits de drain pour le modèle $\frac{K_{hb}}{K_{hc}}=1.3$

Commentaire :

D'après les graphes précédents on constate que :

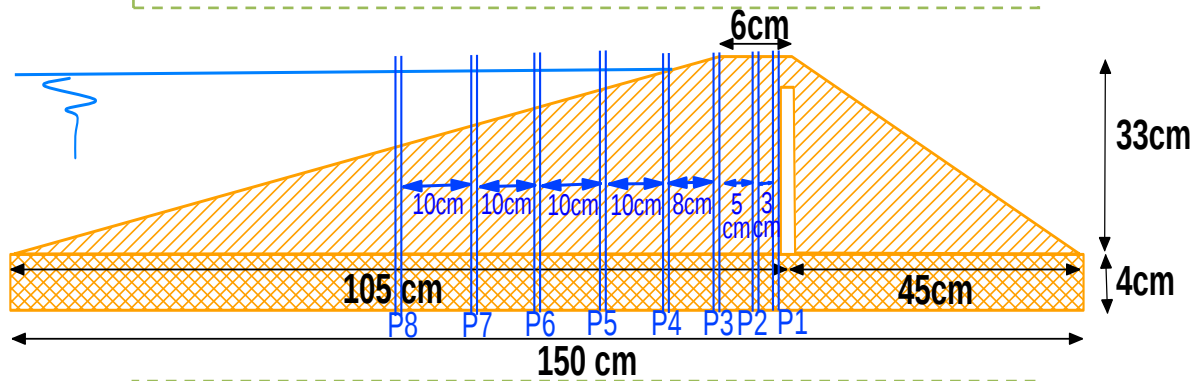
- Une diminution notable du débit du drain avec l'augmentation de la perméabilité de la fondation,
- On note aussi que le débit du drain diminue avec la diminution de la pente,
- On peut conclure aussi que l'augmentation de la perméabilité de la fondation joue le rôle d'un drain.
- D'après les six graphes ci-dessus:
 - il existe une relation inverse entre le débit du drain et le débit de la base ,à chaque augmentation du débit de la base il existe une diminution du débit du drain.

III.2.3 La charge d'eau devant le drain :

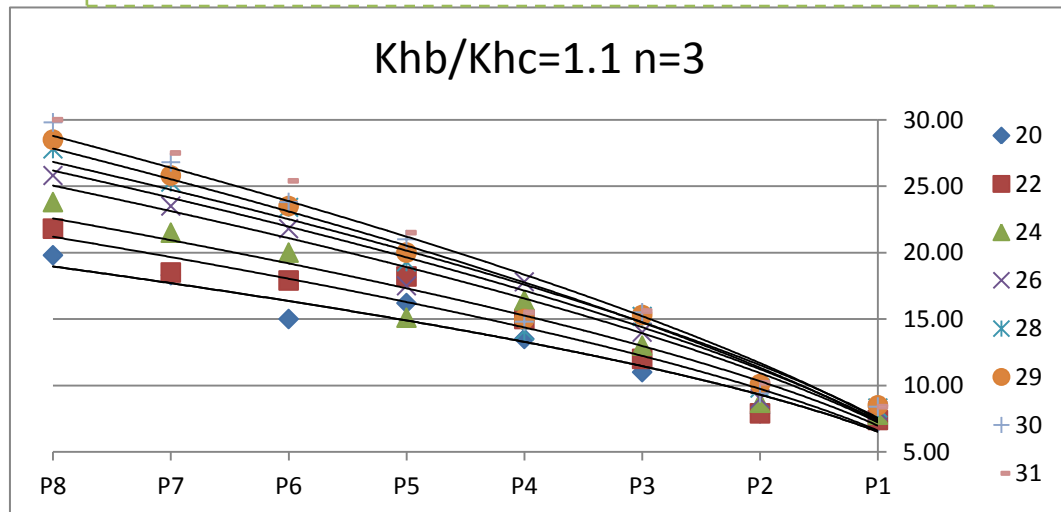
En mesure la charge d'eau devant le drain avec d'une série des piézomètres.

$\frac{K_{hb}}{K_{hc}} = 1.1$		n=3							
h(cm)	h(e)/H(mur)	P1 (cm)	P2 (cm)	P3 (cm)	P4 (cm)	P5 (cm)	P6 (cm)	P7 (cm)	P8 (cm)
20	0.61	7.30	7.90	11.00	13.50	16.20	15.00	18.30	19.80
22	0.67	7.40	7.90	12.00	15.00	18.20	17.90	18.50	21.80
24	0.73	7.80	8.70	13.00	16.40	15.1	20.00	21.50	23.80
26	0.79	8.10	9.00	14.00	17.80	17.5	21.80	23.50	25.80
28	0.85	8.30	9.80	15.20	14.10	19.3	23.40	25.30	27.80
29	0.88	8.50	10.10	15.30	15.00	20.0	23.50	25.80	28.50
30	0.91	8.40	9.40	15.50	14.80	21.0	23.80	26.80	29.80
31	0.94	8.40	10.20	15.60	15.50	21.5	25.40	27.50	30.00

Tab(III.8) : la charge d'eau mesuré par les piézomètres n=3



Fig(III.9) : Schématisation d'implantation des piézomètres



Fig(III.10) : La charge d'eau devant le drain pour $\frac{K_{hb}}{K_{hc}} = 1.1$ et n=3

Commentaire :

⇒ D'après le graphe précédent on remarque que la courbe donnée par les piézomètres, c'est la courbe de saturation, on remarque que la courbe de saturation est bien rabattue, ce fait permet de postuler que nous avons bien choisies la dimension et la position du drain (les autres cas, voir Annexe),

III.2.4 Comparaison avec les résultats de Ben safiden et Dendane, (2015):

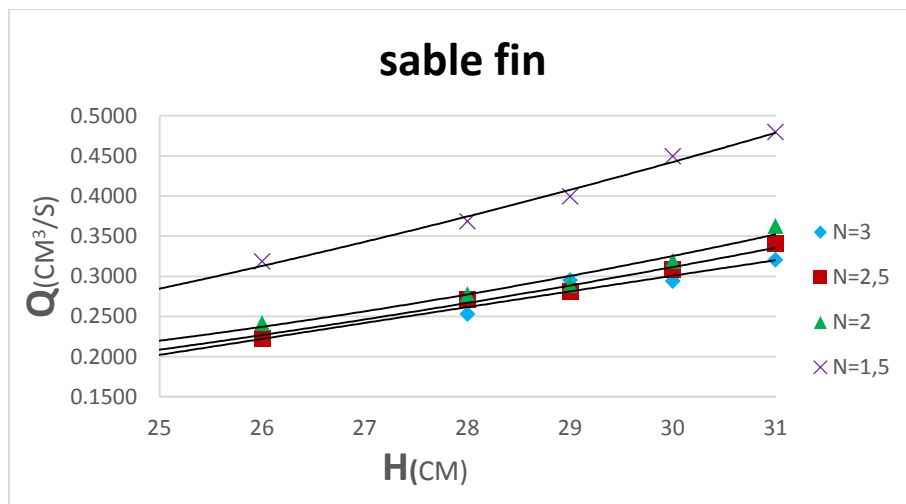
III.2.4.1 Comparaison entre les débits du drain pour chaque type de sol :

	Q (cm ³ /s)			
H (cm)	n=3	n=2,5	n=2	n=1,5
20	0,1264	0,1575	0,2001	0,2271
22	0,1813	0,2083	0,2318	0,2761
23	0,2351	0,2492	0,2847	0,3189
26	0,2824	0,3187	0,3393	0,3852
28	0,3688	0,4055	0,4249	0,4782
29	0,4161	0,4375	0,4936	0,5524
30	0,4297	0,5387	0,5432	0,6169
31	0,4745	0,5925	0,6153	0,6874

Tab(III.9) : les débits de base pour le modèle $\frac{K_h b}{K_h c} = 1.7$ [Ben safiden et Dendane, 2015]

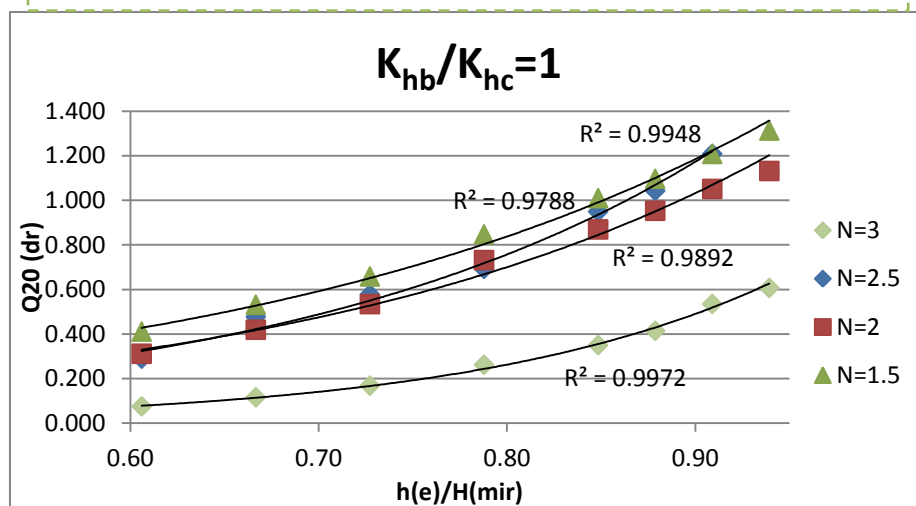
pen	n= 3	n=2.5	n= 2	n=1.5
h(e)/H(mur)	Q ₂₀ (cm ³ /s)	Q ₂₀ (cm ³ /s)	Q ₂₀ (cm ³ /s)	Q ₂₀ (cm ³ /s)
0.61	0.177	0.210	0.292	0.411
0.67	0.242	0.308	0.385	0.510
0.73	0.322	0.405	0.491	0.608
0.79	0.359	0.524	0.606	0.732
0.85	0.491	0.645	0.723	0.838
0.88	0.567	0.705	0.784	0.896
0.91	0.623	0.771	0.843	0.933
0.94	0.715	0.831	0.972	0.989

Tab(III.10) : les débits de base pour le modèle $\frac{K_h b}{K_h c} = 1.1$

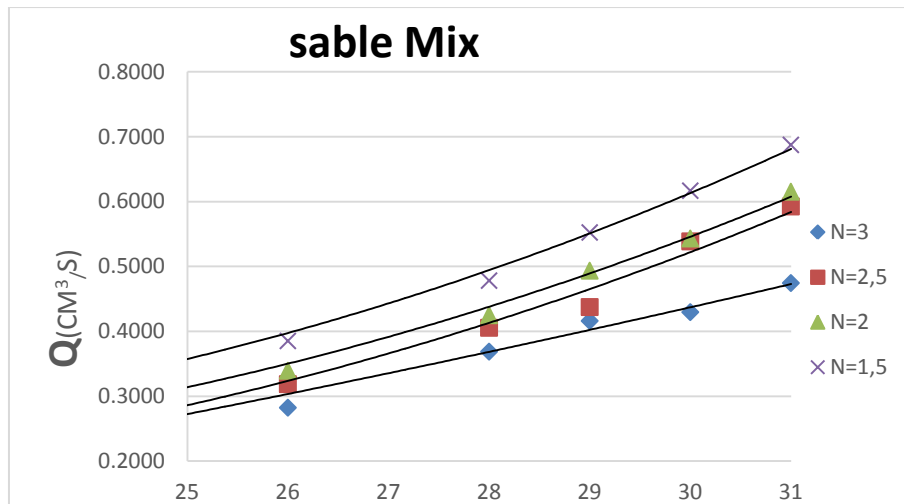


Fig(III.11) : les débits du drain de modèle $\frac{K_{hb}}{K_{hc}}=1$

[Ben safiden et Dendane, 2015]

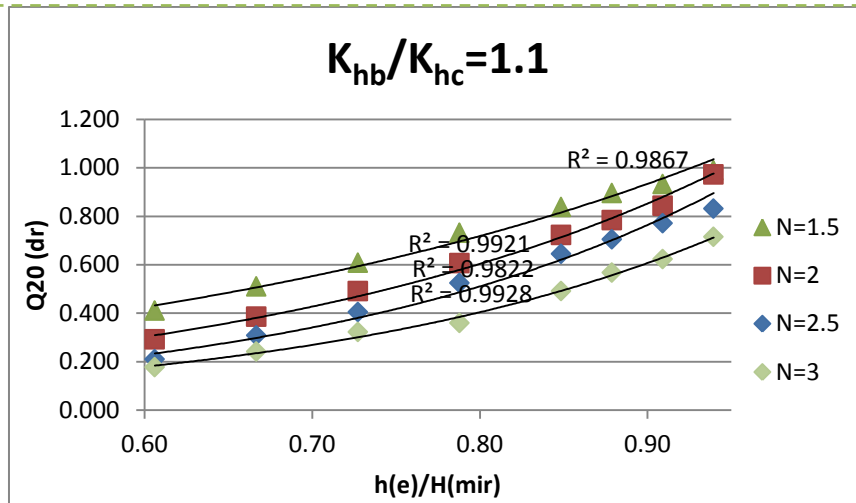


Fig(III.12) : les débits du drain de modèle $\frac{K_{hb}}{K_{hc}}=1$

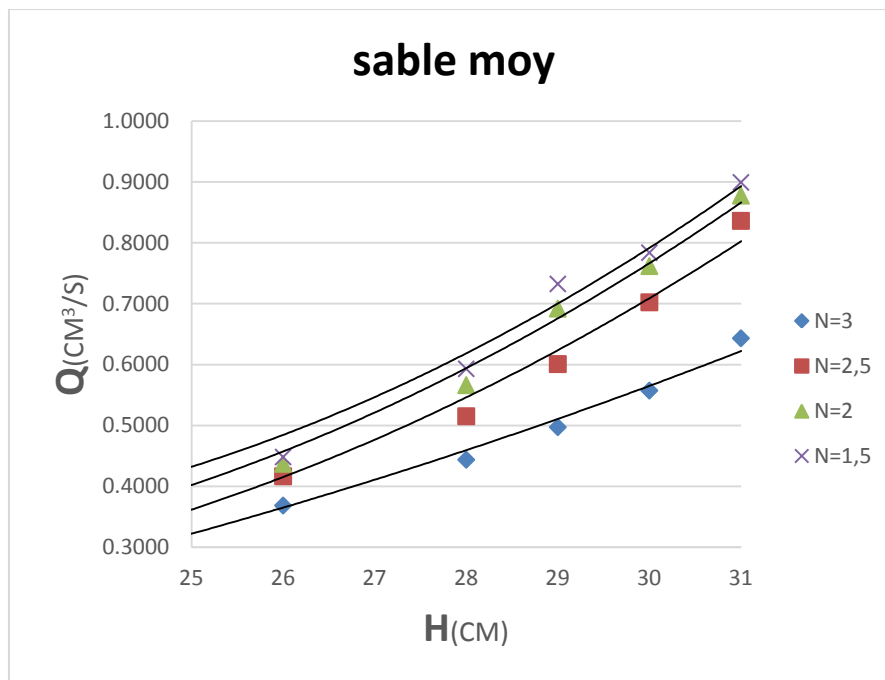


Fig(III.13) : les débits du drain de modèle $\frac{K_{hb}}{K_{hc}}=1.7$

[Ben safiden et Dendane, 2015]

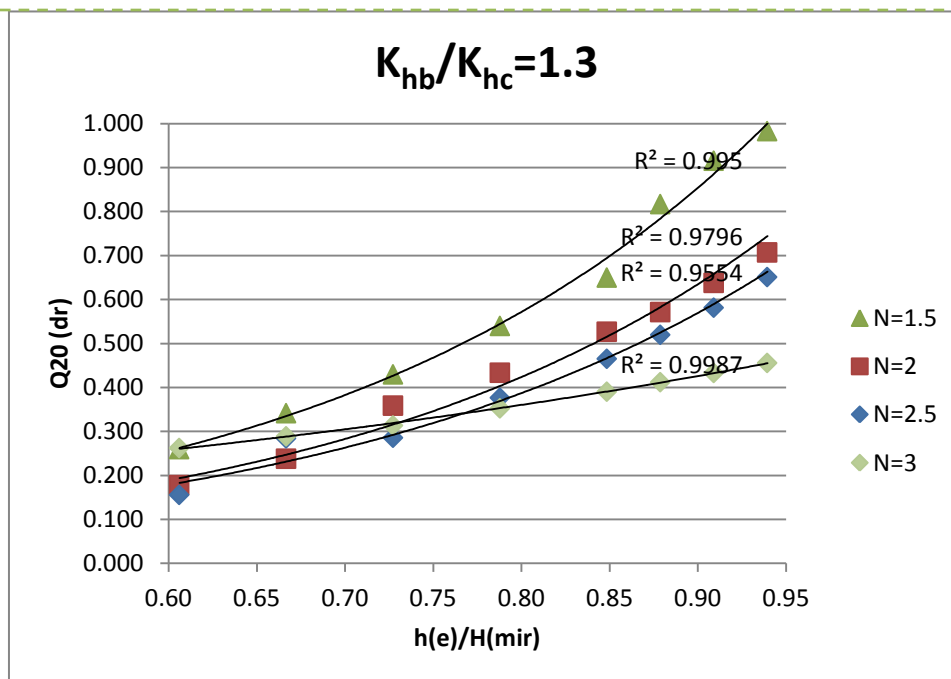


Fig(III.14) : les débits du drain de modèle $\frac{K_{hb}}{K_{hc}}=1.1$

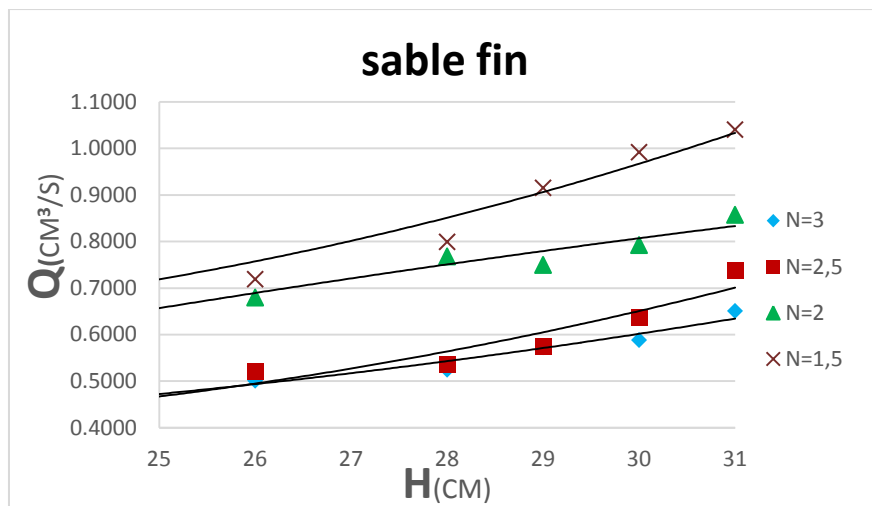


Fig(III.15) : les débits du drain de modèle $\frac{K_{hb}}{K_{hc}}=2.1$

[Ben safiden et Dendane, 2015]

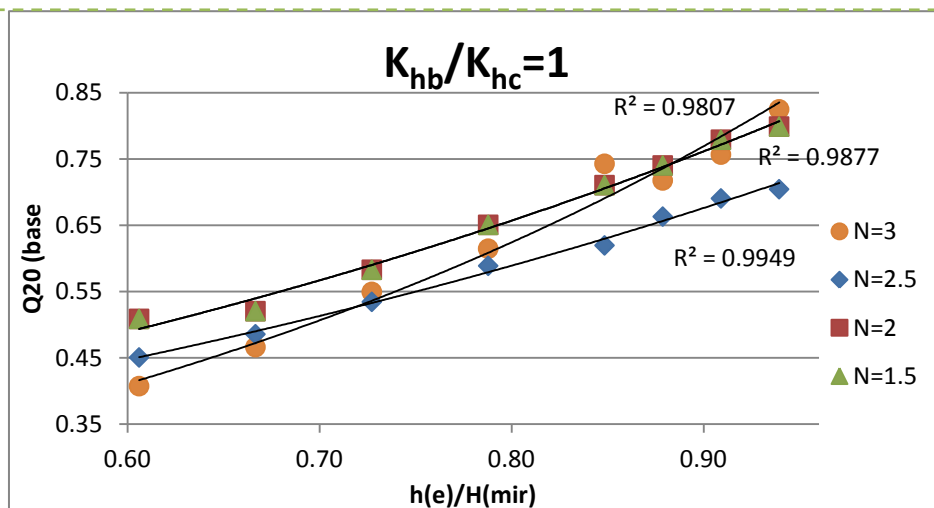


Fig(III.16) : les débits du drain de modèle $\frac{K_{hb}}{K_{hc}}=1.3$

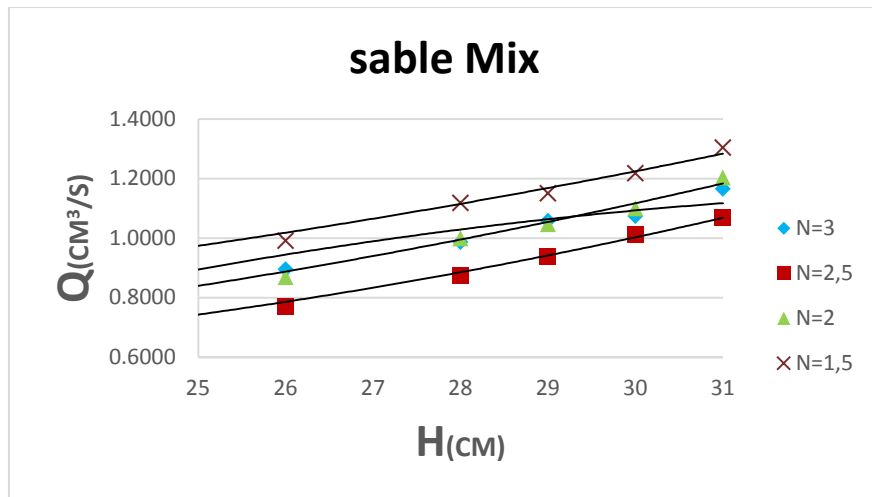


Fig(III.17) : les débits à travers la base de modèle $\frac{K_{hb}}{K_{hc}}=1$

[Ben safiden et Dendane, 2015]

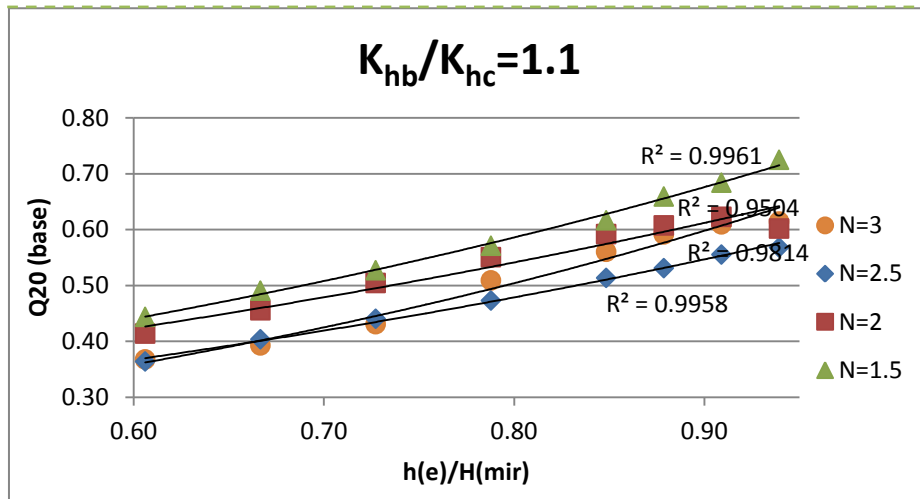


Fig(III.18) : les débits à travers la base de modèle $\frac{K_{hb}}{K_{hc}}=1$

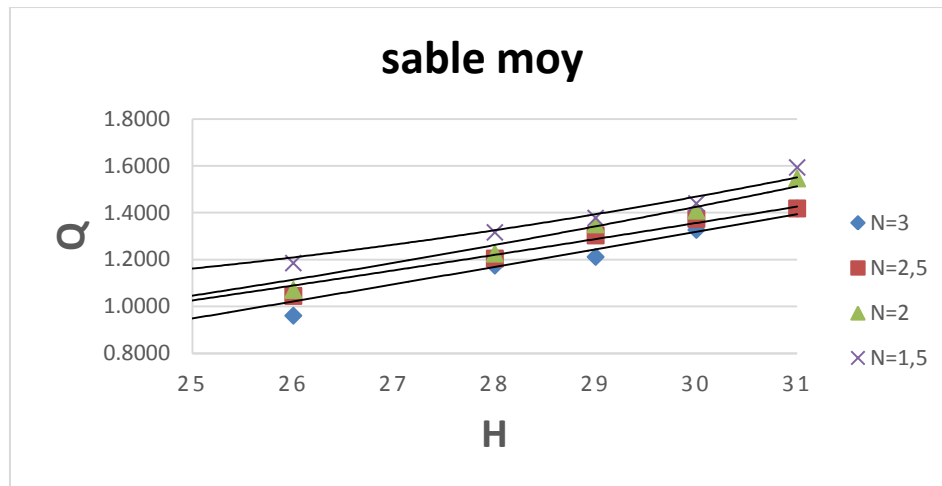


Fig(III.19) : les débits à travers la base de modèle $\frac{K_{hb}}{K_{hc}}=1.7$

[Ben safiden et Dendane, 2015]

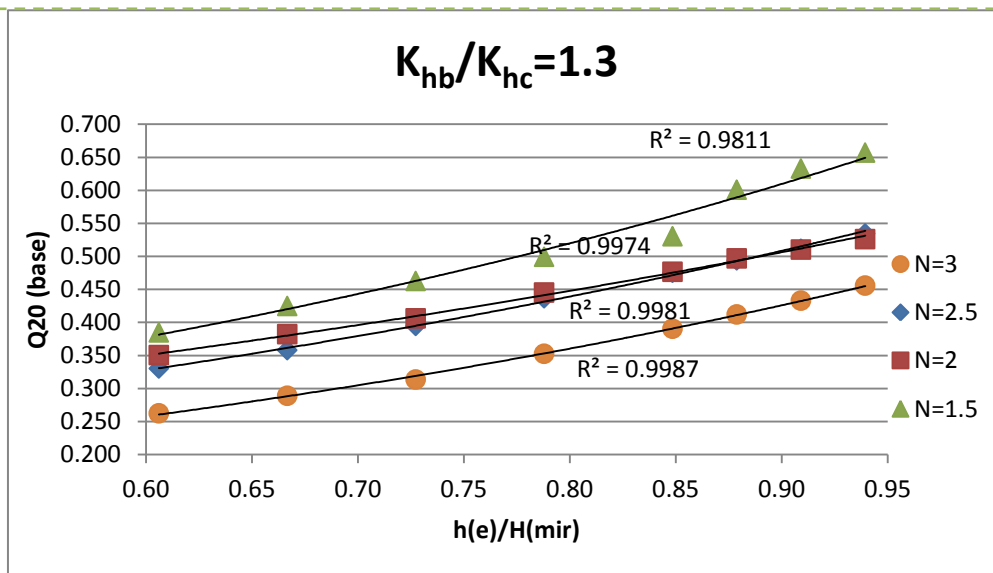


Fig(III.20) : les débits à travers la base de modèle $\frac{K_{hb}}{K_{hc}}=1.1$



Fig(III.21) : les débits à travers la base de modèle $\frac{K_{hb}}{K_{hc}}=2.1$

[Ben safiden et Dendane, 2015]

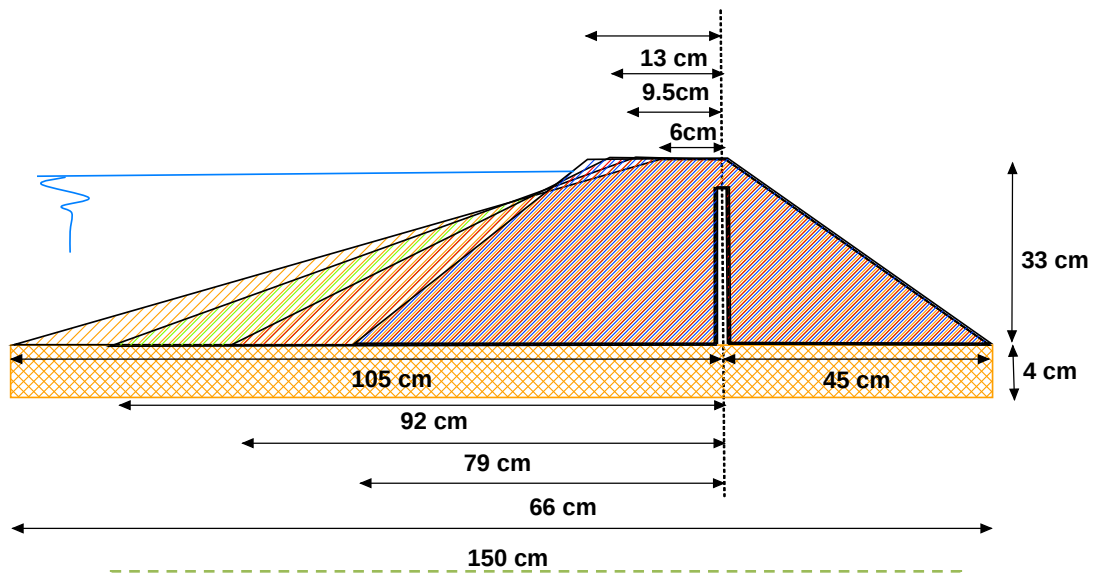


Fig(III.22) : les débits à travers la base de modèle $\frac{K_{hb}}{K_{hc}}=1.3$

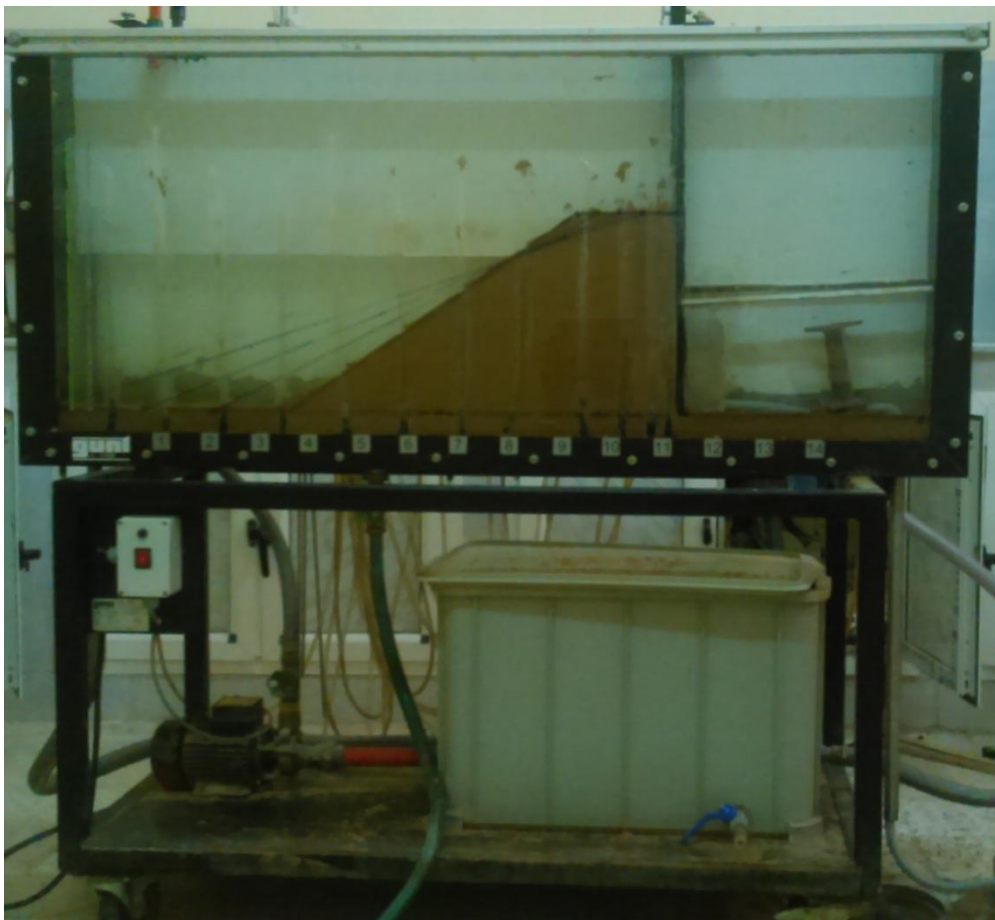
Commentaire :

D'après les graphes précédents, on constate que nous avons la même tendance des courbes, la différence entre les débits dépend de la perméabilité des modèles.

III.3 Barrage à crête varié (gradient hydraulique moyen constant):



Fig(III.23) : schéma du barrage à crête variable



Fig(III.24) : barrage en terre avec un drain vertical et une crête variable

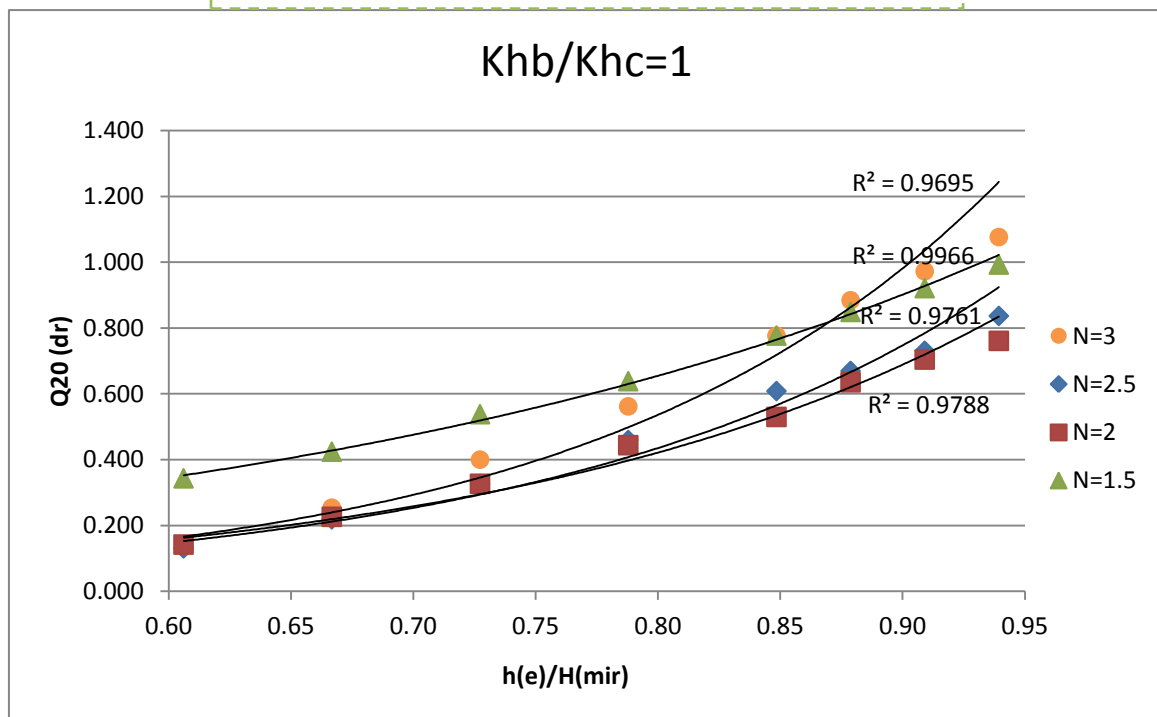
III.3.1 Détermination expérimental de débit d'infiltration à travers le drain:

III.3.1.1 Modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1$:

Le 1^{er} modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1$ fig. (III.25) est un modèle réduit d'un barrage en terre constitue d'un drain vertical.

penste	n= 1.5	n=2	n= 2.5	n=3
h(e)/H(mur)	Q_{20} (cm ³ /s)	Q_{20} (cm ³ /s)	Q_{20} (cm ³ /s)	Q_{20} (cm ³ /s)
0.61	0.343	0.142	0.130	0.134
0.67	0.424	0.226	0.219	0.254
0.73	0.538	0.326	0.326	0.400
0.79	0.638	0.444	0.459	0.562
0.85	0.777	0.530	0.608	0.776
0.88	0.849	0.635	0.669	0.884
0.91	0.921	0.704	0.731	0.972
0.94	0.993	0.761	0.836	1.076

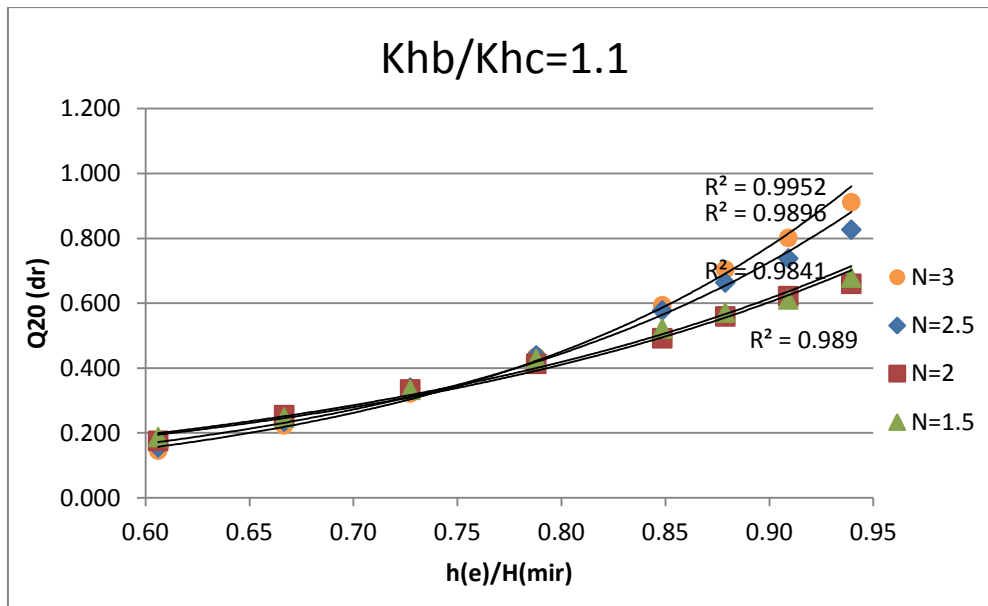
Tab(III.11) : les débits de drain pour le modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1$



Fig(III.25) : les débits du drain pour le modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1$

III.3.1.2 Modèle $\frac{K_h b}{K_h c}=1.1$:

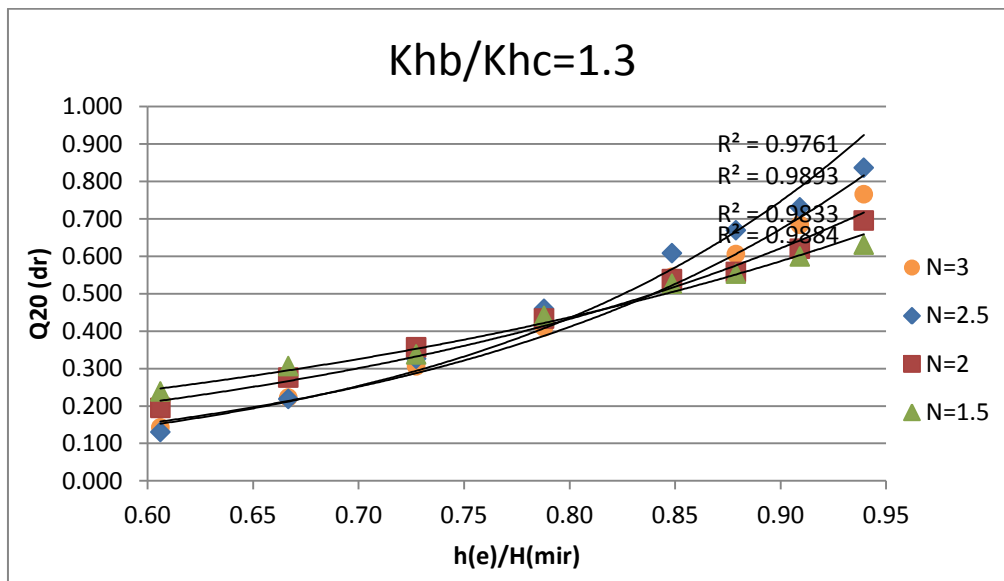
Le deuxième modèle $\frac{K_h b}{K_h c} = 1.1$ fig. (III.26) est un modèle réduit d'un barrage en terre constitué d'un drain vertical.



Fig(III.26) : les débits de drain pour le modèle $\frac{K_h b}{K_h c} = 1.1$

III.3.1.3 Modèle $\frac{K_h b}{K_h c} = 1.3$:

Le troisième modèle $\frac{K_h b}{K_h c} = 1.3$ fig. (III.27) est un modèle réduit d'un barrage en terre constitué d'un drain vertical.



Fig(III.27) : les débits de drain pour le modèle $\frac{K_h b}{K_h c} = 1.3$

Commentaire :

D'après les graphes précédents nous remarquons :

- Une augmentation notable du débit avec l'augmentation de la charge d'eau ;
- Quand la charge d'eau en amont est supérieure à 26 cm, on constate que le débit de fuite drainé par le drain augmente avec l'augmentation de la pente,

• On note également, que le débit diminue avec l'augmentation de la pente, si la charge d'eau en amont est inférieure à 26 cm,

Donc, on peut conclure, quand le gradient hydraulique est supérieur au gradient hydraulique moyen (à charge 26 cm), il augmente avec l'augmentation de la pente;

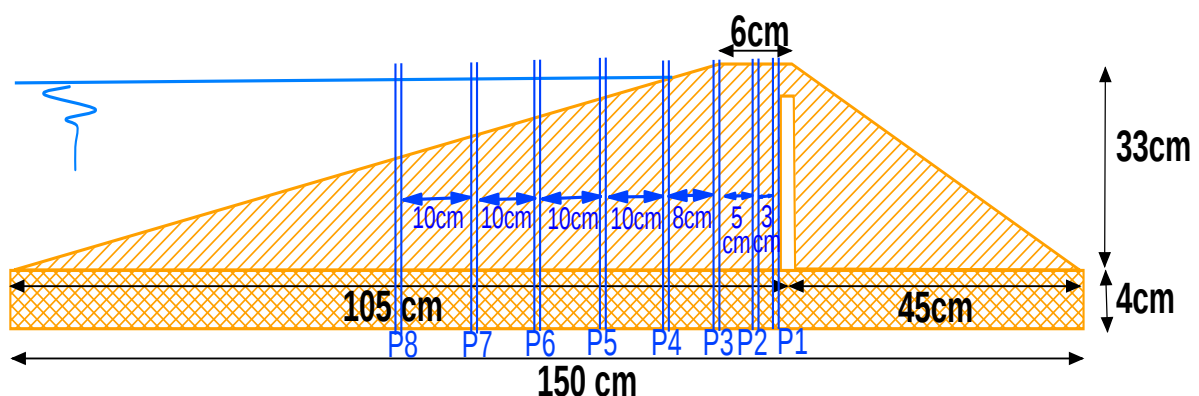
Si le gradient hydraulique est inférieur au gradient hydraulique moyen, il diminue avec l'augmentation de la pente.

III.3.2 La charge d'eau devant le drain :

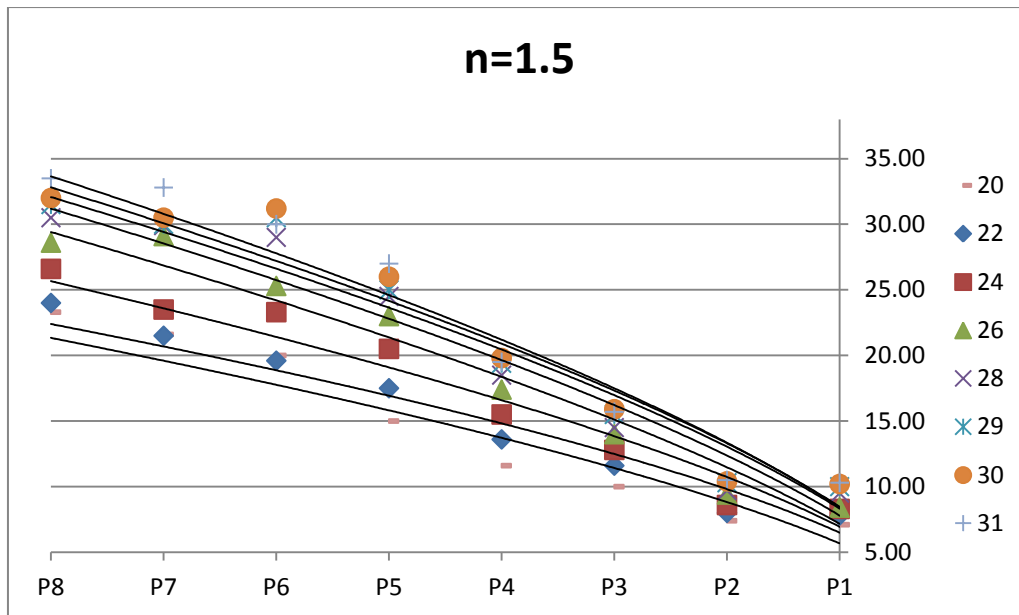
En mesure la charge d'eau devant le drain avec une série des piézomètres.

$\frac{K_h b}{K_h c} = 1.3$		n=1.5							
h(cm)	h(e)/H(mur)	P1 (cm)	P2 (cm)	P3 (cm)	P4 (cm)	P5 (cm)	P6 (cm)	P7 (cm)	P8 (cm)
20	0.61	7.10	7.40	10.00	11.60	15.00	20.00	21.60	23.30
22	0.67	7.80	8.00	11.60	13.60	17.50	19.60	21.50	24.00
24	0.73	8.30	8.60	12.80	15.50	20.50	23.30	23.50	26.60
26	0.79	8.40	9.40	14.00	17.40	23.00	25.30	29.10	28.60
28	0.85	9.50	9.70	14.50	18.50	24.50	29.00	29.90	30.50
29	0.88	10.00	10.30	15.50	19.40	25.00	30.50	30.00	31.50
30	0.91	10.20	10.40	15.90	19.80	26.00	31.20	30.50	32.00
31	0.94	10.30	10.50	15.70	19.50	27.00	30.00	32.80	33.50

Tab(III.12) : la charge d'eau mesuré par les piézomètres n=1.5



Fig(III.28) : Schématisation d'implantation des piézomètres



Fig(III.29) :La charge d'eau devant le drain pour $\frac{K_h b}{K_h c} = 1.3$ et $n=1.5$

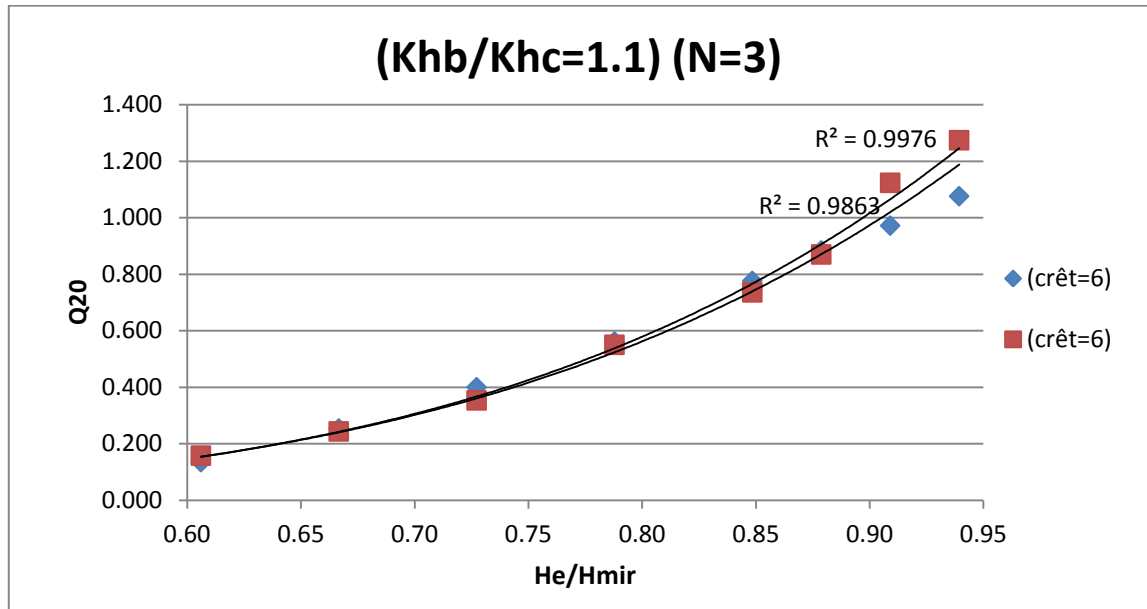
Commentaire :

D'après le graphe précédent on remarque que la courbe donnée par les piézomètres, c'est la courbe de saturation, on remarque que la courbe de saturation est bien rabattue dedans, ce fait permet de postuler que nous avons bien choisies la dimension et la position du drain (les autres cas, voir Annexe),

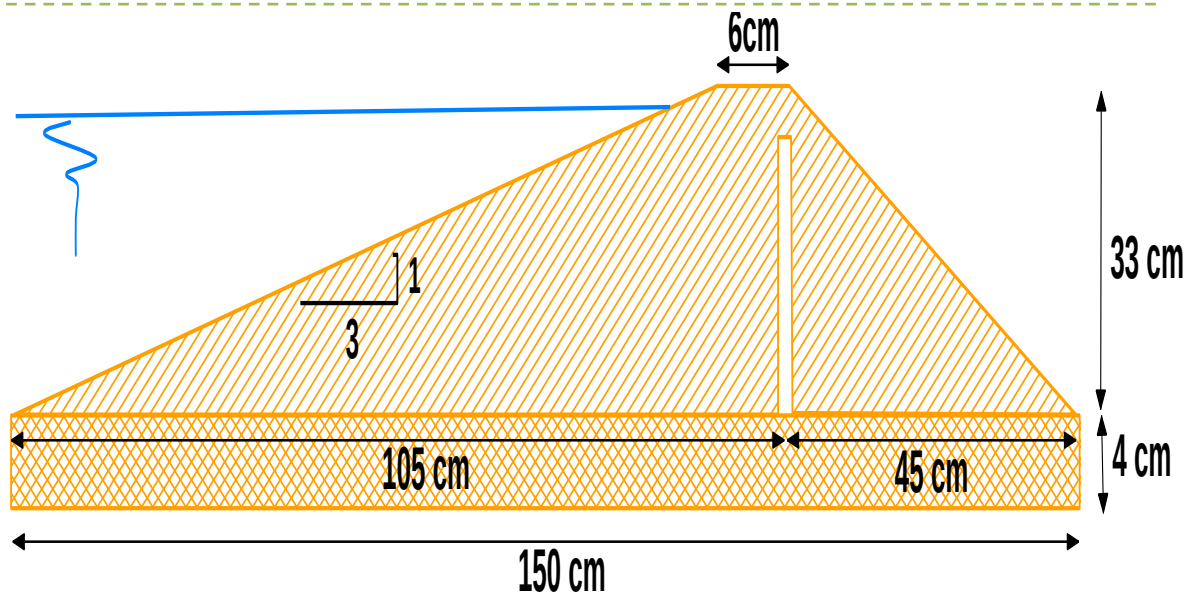
III.4 Comparaison entre le débit du drain pour une crête constante (CC) et une crête varié (CV) :

Pour $n=3$:

Compression entre les débits du drain pour la même pente ($n=3$) et ($b_{cc}=6\text{ cm}$, $b_{cv}=6\text{ cm}$).



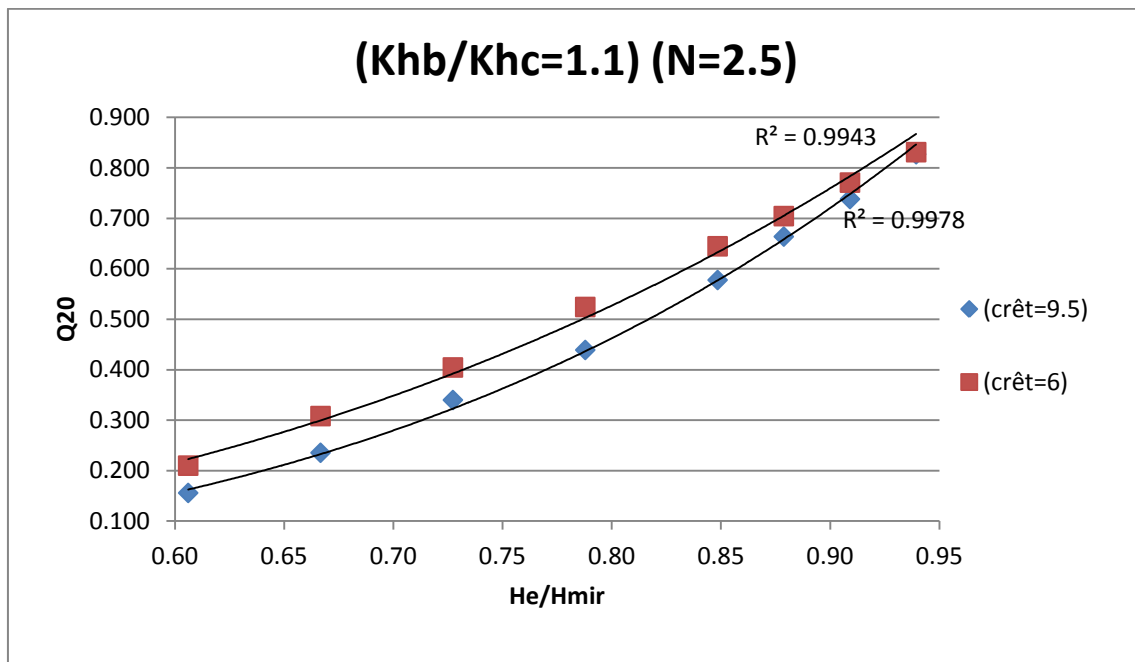
Fig(III.30) : le débit du drain pour même sol $\frac{K_{hb}}{K_{hc}} = 1.1$ et la même pente $n=3.0$



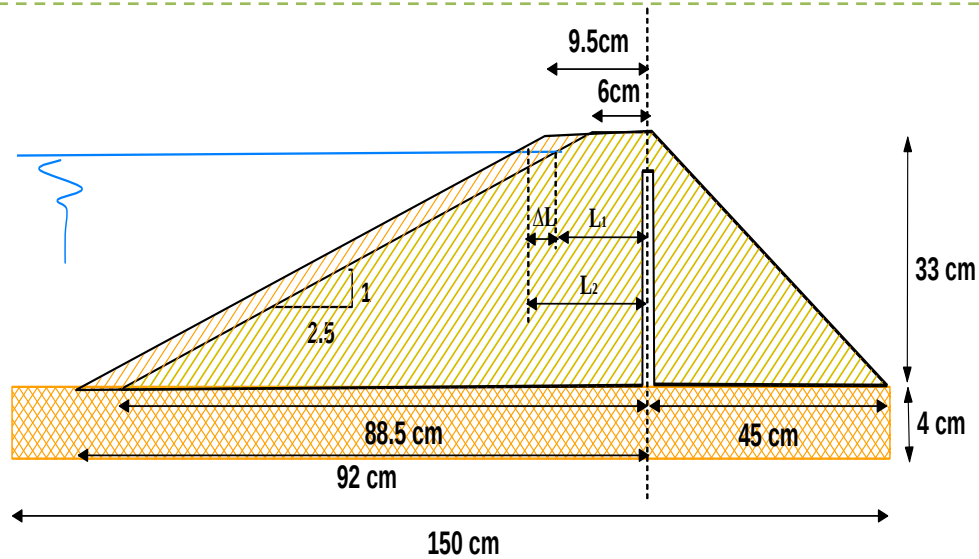
Fig(III.31) : schéma du barrage à crête variable pour une pente $n=3$ et $b_{cv}=6\text{ cm}$

Pour n=2.5:

Compression entre les débits du drain pour la même pente(n=2.5)et($b_{cc}=6\text{ cm}$, $b_{cv}=9.5\text{ cm}$).



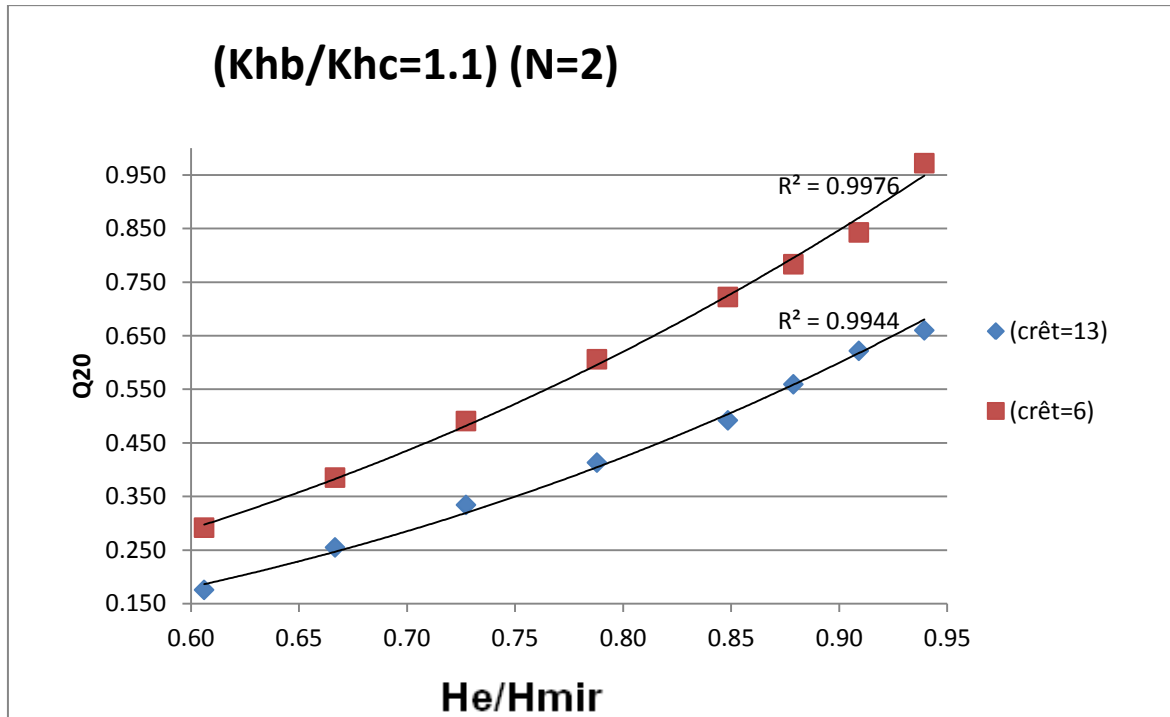
Fig(III.32) :le debit du drain pour le même sol $\frac{K_{hb}}{K_{hc}} = 1.1$ et la même pente **n=2.5**



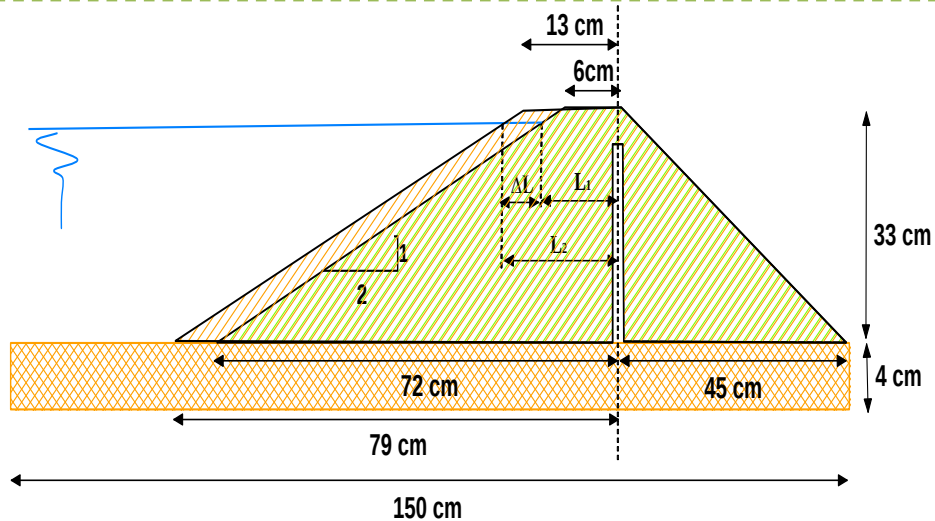
Fig(III.33) :schéma du barrage à crête variable pour une pente **n=2.5** et **b_{cv}=9.5cm**

Pour $n=2$:

Compression entre les débits du drain pour la même pente ($n=2.5$) et ($b_{cc}=6\text{ cm}$, $b_{cv}=13\text{ cm}$).



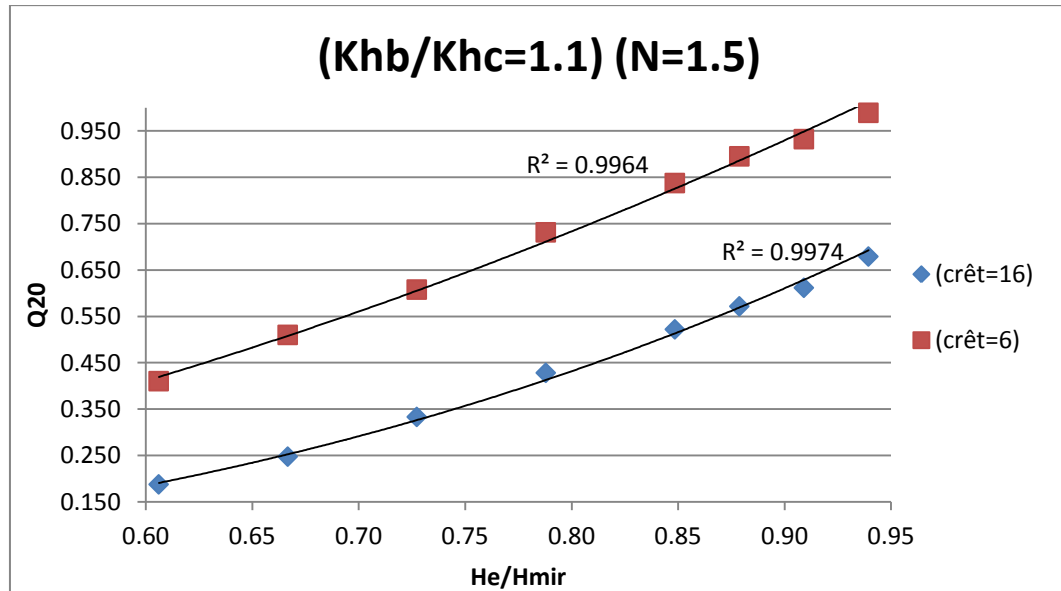
Fig(III.34) :le debit du drain pour le même sol $\frac{K_{hb}}{K_{hc}} = 1.1$ et la même pente $n=2$



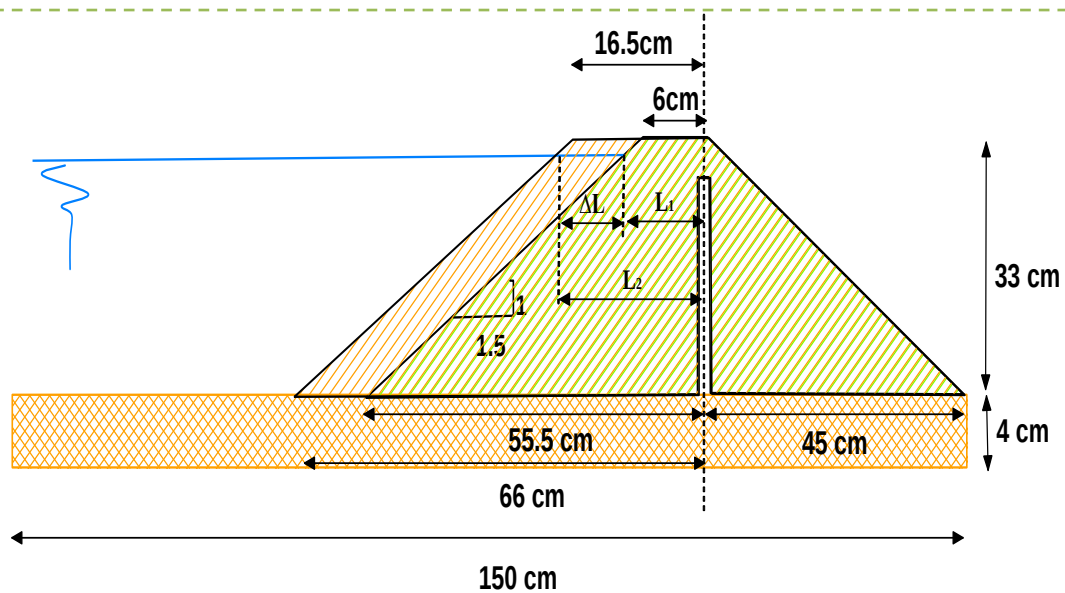
Fig(III.35) :schéma du barrage à crête varié pour une pente $n=2$ et $b_{cv}=13\text{ cm}$

Pour $n=1.5$:

Compression entre les débits du drain pour la même pente ($n=2.5$) et ($b_{cc}=6 \text{ cm}$, $b_{cv}=16.5 \text{ cm}$).



Fig(III.36) : le débit du drain pour le même sol $\frac{K_h b}{K_h c} = 1.1$ et la même pente $n=1.5$



Fig(III.37) : schéma du barrage à crête varié pour une pente $n=1.5$ et $b_{cv}=16.5 \text{ cm}$

Commentaire :

D'après ces résultats on peut conclure qu'il y a une relation entre la largeur de la crête et le débit de fuite, avec l'augmentation de la crête il y aura une diminution du débit de fuite.

III.5 Conclusion :

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 six modèles réduits d'un barrage en terre sur une assise perméable.

Dans la première partie du chapitre, nous avons présenté les résultats des expériences pour un barrage avec une crête constante.

On a noté que le débit du drain diminue avec la diminution de la pente, et que l'augmentation de la perméabilité de la fondation joue le rôle d'un drain.

Dans la deuxième partie avons présenté les résultats des expériences pour un barrage avec un gradient hydraulique constant, on a conclu que le débit dépend du gradient hydraulique et de la pente du talus amont;

Dans la troisième partie une comparaison entre les débits du drain des deux modèles est présenté (modèle à crête constante et modèle à crête varié). D'après les résultats obtenus, on a conclu qu'il y a une relation entre la largeur de la crête et le débit de fuite, avec l'augmentation de la crête il y aura une diminution du débit de fuite.

À la fin nous concluons que il faut diminuer la perméabilité de la base pour diminuer le débit de fuite à travers la fondation, choisir une largeur de la crête et une pente optimales pour augmenter la stabilité du barrage et limiter l'infiltration.



Conclusion **générale**

Conclusion général :

Dans cette étude, nous nous sommes intéressés à l'écoulement à travers un barrage en terre sur une base perméable avec d'un système de drainage vertical. Notre objectif était en effet d'examiner l'influence des conditions de la pente du talus amont et la perméable de la base de barrage sur le processus de drainage.

Le dispositif expérimental employé pour étudier ces mécanismes est constitué d'un milieu poreux. On a construit un modèle réduit ; c'est un barrage en terre homogène avec un drain vertical sur une base perméable. On a pour cela utilisé du sable fins en tant que milieu perméable pour le corps du barrage, du sable différent pour la fondation et un filtre métallique pour le drain. à l'aide d'un perméamétrie nous avons pu déterminer la perméabilité des matériaux utilisés au laboratoire.

Parmi les rôles d'un filtre de drainage est de drainer les eaux infiltrées à travers le corps du barrage, et diminuer la sous-pressure dans la fondation des barrages.

Dans tout les temps nous remarquons que la courbe de saturation est bien rabattue à l'intérieur du barrage. Ce fait permet de postuler que nous avons bien choisies la dimension et la position du drain.

L'originalité de cette étude réside d'avoir des relations entre la largeur de la crête, la pente et le débit de fuite.

À partir du changement de la pente et de la charge d'eau en amont nous avons mesuré le débit de fuite. A travers une analyse des résultats obtenus grâce aux mesures de débit de fuite à travers la fondation et le corps du barrage, on a pu constater une bonne cohérence entre les résultats obtenus et la théorie de Darcy.

Plusieurs limitations ont été soulignées au cours des essais en laboratoire :

- Le temps de préparation et la durée de chaque essai permettaient de réaliser huit expériences complètes par jour. Cela souligne la limitation à l'exécution d'un nombre majeur d'essais et à étudier plus de variables (large gamme de perméabilité) décrivant la digue et son comportement hydraulique.
- La présence de bulles d'air dans l'ensemble des piézomètres nous permet de fixer des tubes dans un plexiglas et l'incorporé dans le corps du barrage pour observer l'eau monter et de lire le niveau maximum atteint à l'aide d'une règle.

Conclusion général

- Manque d'un réservoir d'eau désaéré dans le montage expérimental de perméabilité vertical qui permet d'éliminer les bulles d'air et donner des résultats plus fiables

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

- ✓ D'après les résultats obtenus on remarque, qu'avec l'augmentation de la pente amont, le débit du drain et le débit de la base augment.
- ✓ On conclut qu'il y a une dépendance entre le débit d'infiltration, le type de sol, la charge d'eau et la pente du talus amont.
- ✓ Il faut diminuer la perméabilité de la base pour diminuer le débit de fuite à traversé la base, et la hauteur de l'eau maximale dans le drain est inférieure à $1/3 H_{\text{mur}}$ ($h_e \leq 1/3 H_{\text{mur}}$) $\Rightarrow$ en tous les cas le barrage est stable.

- **Ahmad Albitar (2007)** Modélisation des écoulements en milieu poreux hétérogènes 2D / 3D, avec couplages surface / souterrain et densitaires thèse doctorat. L'institut national polytechnique de Toulouse.
- **Allout Naas (2013)** Modélisation et simulation numérique de la stabilité des pentes dans les barrages en terre, mémoire magister. université M'hamed Bougara Boumerdes.
- **Amieur Rekia (2012)** Etude expérimentale d'un barrage en terre avec cheminée filtrante sous l'action de l'infiltration sur une base perméable, mémoire magister, université Amar Thelidji Laghouat.
- **Ben safiden daouia et Dendane zineb (2015)** Effet de l'hétérogénéité sur le comportement hydraulique d'un barrage en terre avec drain vertical sur une base perméable Mémoire de master , université Amar Thelidji Laghouat.
- **Berga Abd elmadjid (2004)** Eléments de mécanique des sols .
- **Bouaich Allaoua (2013)** simulation numerique de l'effet de tremblement de terre sur les barrages en terre. université Mohamed Khider – Biskra.
- **Bourdillon Christian (2001)** Notions de base sur les incertitudes et le traitement des données expérimentales en physique, chimie, biologie.
- **Gérard Degoutte et Paul Royet (2009)** Aide mémoire de mécanique des sols.
- **Ghomari.F et Bendi-Ouis.A (2008)** Science des matériaux de construction Travaux pratiques.
- **Gorges Schneebeli (1987)** Hydraulique souterraine Livre pp89-90.
- **Harrat Samira (2015)** Etude expérimentale d'un barrage en terre homogène sur une base, mémoire magister, université des sciences et de la technologie d'Oran Mohamed Boudiaf.
- **Jacques Lérau (2006)** Géotechnique 1, Cours Chapitres 2, institut national des sciences appliquées de Toulouse.
- **Jean-Pierre MAGNAN (1999)** L'eau dans le sol.
- **Lakhdar Djemili 2006** Critères de choix de projet des barrages en terre : Etanchéité par le masque en béton bitumineux thèse doctorat. université colonel hadj-lakhdar- Batna.
- **Messaid Belkacem (2009)** Etude de la position efficace des drains dans les barrages en terre thèse doctorat, université colonel hadj-lakhdar- Batna.
- **Robitaille Vineent (1997)** Mécanique des sols ; théorique et pratique.
- www.grr.ulaval.ca/gae_3001/Documents/Notes_2011/CH_01_Lois.pdf
- www.grr.ulaval.ca/gae_3001/Documents/Notes_2011/CH_05_Lois.pdf
- www.idropproject.com/uploads/1/5/0/9/15095244/analyse_granulometrique.pdf
- www.wikipedia.org (2016).

Introduction :

En sciences expérimentales, il n'existe pas de mesures exactes. Celle-ci ne peuvent être qu'entachées d'erreurs plus ou moins importantes selon le protocole choisi, la qualité des instruments de mesure ou le rôle de l'opérateur.

Lors de la plupart des mesures physiques, on ne possède pas de valeur de référence, comme celle dont nous venons de parler. Lorsqu'on mesure la distance de deux points, ou l'intervalle de temps qui sépare deux événements, ou la masse d'un objet, on ne sait pas quelle est la valeur exacte de la grandeur mesurée [Amieur 2012].

Incertitude absolue, Incertitude relative:

L'incertitude absolue Δx est l'erreur maximale que l'on est susceptible de commettre dans l'évaluation de x . L'incertitude absolue s'exprime donc dans les unités de la grandeur mesurée. L'incertitude relative $\Delta x/x$ représente l'importance de l'erreur par rapport à la grandeur mesurée. L'incertitude relative n'a pas d'unités et s'exprime en général en % ($100\Delta x/x$).

L'incertitude relative est une manière commode de chiffrer la précision d'une mesure (notion définie ci dessous). Dans le langage scientifique, une mesure de fréquence est dite très précise car mesurée avec une incertitude relative meilleure que 0,0001 %. Par contre la mesure d'un paramètre physiologique ne peut être difficilement apprécié à mieux que quelques dizaines de % du fait de la variabilité rencontrée chez les êtres vivants [Bourdillon 2001].

Calcul d'incertitude :

En physique expérimentale, les grandeurs que l'on mesure sont généralement utilisées pour déduire des résultats par des calculs. Il est alors intéressant de savoir de quelle manière les incertitudes des mesures se répercutent sur les incertitudes des résultats.

La mesure des débits :

$$Q = \frac{V}{t} \quad (\text{cm}^3/\text{s}) \quad (1)$$

Donc on calcule l'incertitude comme suite :

$$\frac{\Delta Q}{Q} = \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta t}{t} \quad (2)$$

Tel que : $\Delta V=0.1$; $\Delta t=0.01$

Correction des débits :

$$Q_{20} = Q_t \frac{\vartheta_t}{\vartheta_{20}} \quad (3)$$

Donc on calcule l'incertitude comme suite :

$$\frac{\Delta Q_{20}}{Q_{20}} = \frac{\Delta Q_t}{Q_t} + \frac{\Delta \vartheta_t}{\vartheta_t} + \frac{\Delta \vartheta_{20}}{\vartheta_{20}} \quad (4)$$

Tel que : $\Delta \vartheta_t = 0.00001$

Correction des perméabilité k_h , k_v :

Pour déterminer la perméabilité horizontale, on applique la relation suivante :

$$k_h = \frac{2QL}{(H^2 - h^2)b} \quad (5)$$

Donc :

$$\frac{\Delta k_h}{k_h} = \frac{\Delta Q}{Q} + \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta(H^2 - h^2)}{(H^2 - h^2)} \quad (6)$$

Pour déterminer la perméabilité verticale, on applique la relation suivante :

$$k_v = \frac{L}{\Delta h} \cdot \frac{Q}{s} \quad (7)$$

D'où

$$\frac{\Delta k_v}{k_v} = \frac{\Delta Q}{Q} + \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta s}{s} + \frac{\Delta h}{h} \quad (8)$$

Annexes I :

Correction des débits pour perméabilité horizontale :

Sable01 :

H	H	(H2-h2)	T (s)	V (cm3)	T °C	Q	Q moy	ΔQ	Q20	ΔQ20	Q20moy	ΔQ20moy
40	10	1500	120	276,3	15,8	2,303	2,309	0,0004	2,834	0,013	2,803	0,013
			240	557,5		2,323						
			360	829		2,303						
			120	274,9	15,8	2,291	2,260	0,0004	2,773	0,012		
			240	537,8		2,241						
			360	809,3		2,248						
	15	1375	120	258,7	15,8	2,156	2,161	0,0004	2,652	0,012	2,601	0,011
			240	517,6		2,157						
			360	781,5		2,171						
			120	254,5	16	2,121	2,100	0,0004	2,550	0,011		
			240	497,8		2,074						
			360	758		2,106						
	20	1200	120	230,1	15,6	1,918	1,896	0,0003	2,352	0,010	2,300	0,010
			240	453		1,888						
			360	677,8		1,883						
			120	221,1	16	1,843	1,853	0,0003	2,249	0,009		
			240	449,9		1,875						
			360	662,7		1,841						
	25	975	120	186,6	15,6	1,555	1,563	0,0003	1,939	0,008	1,885	0,008
			240	378,4		1,577						
			360	560,4		1,557						
			120	180,6	16	1,505	1,509	0,0003	1,831	0,007		
			240	361,3		1,505						
			360	545,5		1,515						
	30	700	120	132,5	15,6	1,104	1,104	0,0002	1,369	0,005	1,348	0,005
			240	262,4		1,093						
			360	401,1		1,114						
			120	132,4	16	1,103	1,093	0,0002	1,327	0,005		
			240	262,4		1,093						
			360	390		1,083						
	35	375	120	67,8	15,6	0,565	0,549	0,0001	0,682	0,002	0,674	0,002
			240	128,1		0,534						
			360	197,9		0,550						
			120	65,3	16	0,544	0,549	0,0001	0,667	0,002		
			240	132,5		0,552						
			360	198,5		0,551						

Annexes I :

Sable02 :

H	h	(H2-h2)	t (s)	V (cm3)	T °C	Q	Q moy	ΔQ	Q20	ΔQ20	Q20moy	ΔQ20moy
40	10	1500	120	359,8	15,4	2,998	2,962	0,0005	3,714	0,019	3,666	0,018
			240	706,8		2,945						
			360	1059,1		2,942						
			120	344,3	15,4	2,869	2,885	0,0005	3,618	0,018		
			240	697,5		2,906						
			360	1036,2		2,878						
	15	1375	120	322,8	15,4	2,690	2,647	0,0005	3,320	0,016	3,311	0,016
			240	628		2,617						
			360	948,7		2,635						
			120	321,4	15,4	2,678	2,633	0,0005	3,302	0,015		
			240	630,1		2,625						
			360	934,2		2,595						
	20	1200	120	277,7	15,4	2,314	2,282	0,0004	2,862	0,013	2,819	0,012
			240	530,9		2,212						
			360	835,2		2,320						
			120	265,1	15,2	2,209	2,189	0,0004	2,776	0,012		
			240	527,7		2,199						
			360	777,6		2,160						
	25	975	120	220,6	15,4	1,838	1,825	0,0003	2,289	0,009	2,238	0,009
			240	439,9		1,833						
			360	649,8		1,805						
			120	207,9	15,2	1,733	1,724	0,0003	2,186	0,009		
			240	409,9		1,708						
			360	623,2		1,731						
	30	700	120	151,9	15,4	1,266	1,284	0,0002	1,610	0,006	1,576	0,006
			240	311,7		1,299						
			360	463,5		1,288						
			120	144,5	15,2	1,204	1,215	0,0002	1,541	0,006		
			240	294		1,225						
			360	438,1		1,217						
	35	375	120	79,3	15,2	0,661	0,662	0,0001	0,840	0,003	0,842	0,003
			240	161,8		0,674						
			360	234,7		0,652						
			120	82,2	15,2	0,685	0,666	0,0001	0,844	0,003		
			240	155,7		0,649						
			360	239		0,664						

Annexes I :

Sable03 :

H	h	(H2-h2)	t (s)	V (cm3)	T °C	Q	Q moy	ΔQ	Q20	ΔQ20	Q20moy	ΔQ20moy
40	10	1500	120	255,5	15,4	2,129	2,130	0,0004	2,671	0,011	2,748	0,012
			240	509,7		2,124						
			360	769		2,136						
			120	268	15,2	2,233	2,227	0,0004	2,824	0,012		
			240	533,6		2,223						
			360	801,1		2,225						
	15	1375	120	226,3	15,4	1,886	1,881	0,0003	2,359	0,010	2,463	0,010
			240	453,7		1,890						
			360	672		1,867						
			120	243,6	15,2	2,030	2,025	0,0003	2,567	0,011		
			240	483,8		2,016						
			360	730		2,028						
	20	1200	120	179,9	15,4	1,499	1,536	0,0003	1,926	0,008	2,042	0,008
			240	367,9		1,533						
			360	567,1		1,575						
			120	207,2	15,2	1,727	1,701	0,0003	2,157	0,009		
			240	412,3		1,718						
			360	597,1		1,659						
	25	975	120	135,7	15,4	1,131	1,102	0,0002	1,382	0,005	1,544	0,006
			240	253,7		1,057						
			360	402,3		1,118						
			120	161,1	15,2	1,343	1,346	0,0002	1,707	0,006		
			240	317,2		1,322						
			360	494,6		1,374						
	30	700	120	92,1	15,2	0,768	0,752	0,0001	0,953	0,003	1,073	0,004
			240	180,3		0,751						
			360	265,2		0,737						
			120	111	14,8	0,925	0,919	0,0002	1,192	0,004		
			240	217,2		0,905						
			360	333,9		0,928						
	35	375	120	44,5	15,2	0,371	0,396	0,0001	0,502	0,002	0,551	0,002
			240	107,8		0,449						
			360	132,4		0,368						
			120	55,1	14,8	0,459	0,463	0,0001	0,600	0,002		
			240	108,3		0,451						
			360	171,9		0,478						

Annexes I :

Correction des débits pour perméabilité vertical :

Sable01 :

H (cm)	t (s)	V (cm3)	T °C	Q (cm3/s)	Q moy	ΔQ	Q20	ΔQ20	Q20moy	ΔQ20moy
40	60	203	16	3,383	3,376	0,005325	4,099	0,089	4,101	0,089
	120	413		3,442						
	240	792,8		3,303						
	60	202,8	16	3,380	3,381	0,005325	4,104	0,089		
	120	408,2		3,402						
	240	806,4		3,360						
35	60	185,8	16	3,097	3,102	0,005279	3,765	0,075	3,744	0,074
	120	373,3		3,111						
	240	743,3		3,097						
	60	184,3	16	3,072	3,066	0,005273	3,722	0,074		
	120	370		3,083						
	240	730,5		3,044						
30	60	166,3	15,8	2,772	2,751	0,005220	3,375	0,061	3,361	0,060
	120	326,6		2,722						
	240	662		2,758						
	60	168	16	2,800	2,757	0,005221	3,347	0,060		
	120	328,9		2,741						
	240	655,1		2,730						
25	60	146,6	15,8	2,443	2,460	0,005172	3,018	0,049	3,006	0,049
	120	296,9		2,474						
	240	590,9		2,462						
	60	148,4	16	2,473	2,467	0,005173	2,994	0,049		
	120	296,9		2,474						
	240	588,5		2,452						
20	60	135,1	15,8	2,252	2,182	0,005126	2,678	0,040	2,673	0,040
	120	257,5		2,146						
	240	515,8		2,149						
	60	130	16	2,167	2,198	0,005128	2,669	0,040		
	120	266,1		2,218						
	240	530,5		2,210						
15	60	110,5	15,8	1,842	1,834	0,005068	2,251	0,029	2,262	0,030
	120	222,5		1,854						
	240	433,7		1,807						
	60	114,4	16,2	1,907	1,893	0,005077	2,274	0,030		
	120	228,2		1,902						
	240	449		1,871						

Annexes I :

Sable02 :

H (cm)	t (s)	V (cm3)	T °C	Q (cm3/s)	Q moy	ΔQ	Q20	ΔQ20	Q20moy	ΔQ20moy
40	60	253,3	14,7	4,222	4,068	0,005440	5,306	0,135	5,075	0,129
	120	484,4		4,037						
	240	946,6		3,944						
	60	243,3	16	4,055	3,991	0,005427	4,844	0,122		
	120	478,4		3,987						
	240	943,2		3,930						
35	60	220	14,6	3,667	3,605	0,005363	4,730	0,107	4,617	0,107
	120	433,2		3,610						
	240	849,5		3,540						
	60	222,3	16	3,705	3,711	0,005380	4,505	0,106		
	120	448,9		3,741						
	240	884,6		3,686						
30	60	182,3	14,6	3,038	3,073	0,005274	4,032	0,079	3,992	0,081
	120	373		3,108						
	240	737,6		3,073						
	60	194,4	16	3,240	3,255	0,005304	3,952	0,083		
	120	393,9		3,283						
	240	778,4		3,243						
25	60	163,1	14,6	2,718	2,657	0,005205	3,485	0,060	3,580	0,066
	120	320,7		2,673						
	240	618,9		2,579						
	60	185,3	16	3,088	3,028	0,005267	3,676	0,072		
	120	360,6		3,005						
	240	717,7		2,990						
20	60	136,5	15,6	2,275	2,240	0,005135	2,779	0,042	3,049	0,051
	120	271,5		2,263						
	240	524		2,183						
	60	169	16,2	2,817	2,763	0,005222	3,319	0,060		
	120	331,1		2,759						
	240	651,2		2,713						
15	60	111,4	15,6	1,857	1,854	0,005071	2,300	0,030	2,241	0,028
	120	225,4		1,878						
	240	438,5		1,827						
	60	107	15,6	1,783	1,759	0,005055	2,182	0,027		
	120	213,8		1,782						
	240	411,1		1,713						

Annexes I :

Sable03:

H (cm)	t (s)	V (cm3)	T °C	Q (cm3/s)	Q moy	ΔQ	Q20	ΔQ20	Q20moy	ΔQ20moy
40	60	215,7	16,8	3,595	3,583	0,005359	4,172	0,096	4,234	0,096
	120	425,5		3,546						
	240	866,3		3,610						
	60	213,6	16	3,560	3,539	0,005352	4,296	0,097		
	120	425,5		3,546						
	240	842,4		3,510						
35	60	197,2	15,2	3,287	3,335	0,005318	4,229	0,090	3,995	0,082
	120	403,4		3,362						
	240	805,4		3,356						
	60	186,3	16	3,105	3,098	0,005278	3,761	0,075		
	120	372,3		3,103						
	240	740,7		3,086						
30	60	184	15,4	3,067	3,037	0,005268	3,808	0,074	3,510	0,065
	120	359,4		2,995						
	240	731,6		3,048						
	60	158,4	16	2,640	2,646	0,005203	3,212	0,056		
	120	322,4		2,687						
	240	626,9		2,612						
25	60	167,9	15,6	2,798	2,708	0,005213	3,359	0,059	3,129	0,053
	120	320,7		2,673						
	240	636,8		2,653						
	60	145	16,2	2,417	2,413	0,005164	2,898	0,047		
	120	296,5		2,471						
	240	564,2		2,351						
20	60	140,4	16	2,340	2,323	0,005149	2,820	0,044	2,705	0,041
	120	277,8		2,315						
	240	555,6		2,315						
	60	133	16,4	2,217	2,179	0,005125	2,590	0,039		
	120	256,6		2,138						
	240	523,7		2,182						
15	60	121,6	16	2,027	2,030	0,005100	2,464	0,034	2,426	0,034
	120	245,9		2,049						
	240	483,1		2,013						
	60	119	16,2	1,983	1,988	0,005093	2,388	0,033		
	120	240,8		2,007						
	240	473,7		1,974						

Annexes I :

Correction de coefficient de perméabilité horizontal :

Sable01 :

Q20moy	2,8034	2,6007	2,3004	1,8849	1,3483	0,6742
ΔQ_{20moy}	0,0126	0,0114	0,0096	0,0075	0,0051	0,0051
Δk	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002
Δk_{moy}	0,0003					

Sable02 :

Q20moy	3,6660	3,3110	2,8191	2,2376	1,5757	0,8421
ΔQ_{20moy}	0,0182	0,0156	0,0123	0,0090	0,0059	0,0059
Δk	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
Δk_{moy}	0,0003					

Sable03 :

Q20moy	2,7476	2,4631	2,0416	1,5443	1,0727	0,5510
ΔQ_{20moy}	0,0118	0,0102	0,0081	0,0058	0,0038	0,0038
Δk	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
Δk_{moy}	0,0003					

Correction de coefficient de perméabilité vertical :

Sable01 :

Q20	4,1012	3,7438	3,3609	3,0064	2,6731	2,2623
ΔQ_{20}	0,0886	0,0745	0,0604	0,0491	0,0396	0,0296
Δk_v	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001
$\Delta k_{v moy}$	0,0002					

Sable02 :

Q20	5,0750	4,6172	3,9918	3,5804	3,0489	2,2411
ΔQ_{20}	0,1289	0,1068	0,0807	0,0659	0,0509	0,0285
Δk_v	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002
$\Delta k_{v moy}$	0,0003					

Sable03:

Q20	4,2339	3,9947	3,5104	3,1287	2,7052	2,4258
ΔQ_{20}	0,0964	0,0824	0,0651	0,0530	0,0412	0,0337
Δk_v	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001
$\Delta k_{v moy}$	0,0002					

Correction des débits de la base et de drain de chaque modèle :

Annexes I :

Kh _b /Kh _c =1				N=3									
h(cm)	h(e)/H(mir)	t (s)	Q (b)	Q (b)moy	Q20 (base)	ΔQ	ΔQ20	Q (dr)	Q (dr)moy	Q20 (dr)	T(°c)	ΔQ	ΔQ20
20	0,61	60	13	0,218	0,263	0,0017	0,0020	4,50	0,068	0,075	16,8	0,0015	0,0017
		120	26,4					7,70					
		240	52,4					15,20					
		60	12,9	0,219				3,70	0,062		17,0		
		120	26,8					7,50					
		240	52,5					14,90					
22	0,67	60	14,7	0,247	0,289	0,0017	0,0020	7,00	0,119	0,116	16,6	0,0014	0,0017
		120	30,4					15,00					
		240	58,3					27,40					
		60	14,5	0,242				5,10	0,082		17,4		
		120	29,1					9,50					
		240	58,1					19,40					
24	0,73	60	15,8	0,264	0,314	0,0017	0,0020	11,70	0,198	0,168	16,6	0,0013	0,0015
		120	31,2					24,50					
		240	64,6					46,40					
		60	15,7	0,261				5,90	0,092		17,4		
		120	31,4					10,40					
		240	62,3					22,00					
26	0,79	60	17,4	0,292	0,353	0,0017	0,0020	17,30	0,296	0,262	16,6	0,0014	0,0015
		120	34,8					36,90					
		240	71,1					70,00					
		60	17,2	0,289				9,90	0,159		17,8		
		120	34,8					18,00					
		240	69,7					38,70					
28	0,85	60	19,8	0,329	0,391	0,0017	0,0019	22,10	0,364	0,350	16,6	0,0014	0,0016
		120	38,9					43,50					
		240	79,8					87,00					
		60	19,2	0,322				15,00	0,248		18,0		
		120	38,8					29,80					
		240	77,1					58,90					
29	0,88	60	20,8	0,348	0,412	0,0017	0,0019	22,90	0,379	0,414	16,6	0,0017	0,0019
		120	41,8					45,30					
		240	83,4					90,80					
		60	20,1	0,339				21,00	0,352		18,2		
		120	40,8					44,00					
		240	82,1					81,50					
30	0,91	60	21,3	0,373	0,433	0,0018	0,0020	22,20	0,487	0,535	16,6	0,0022	0,0025
		120	48,6					65,90					
		240	85,9					130,20					
		60	21,1	0,356				27,70	0,462		18,4		
		120	43,4					55,30					
		240	85,4					111,10					
31	0,94	60	23,6	0,384	0,456	0,0017	0,0019	35,90	0,592	0,607	16,6	0,0016	0,0018
		120	45,6					69,70					
		240	90,6					143,10					
		60	23	0,380				28,80	0,481		18,4		
		120	45,6					57,10					
		240	90,2					116,80					

Annexes I :

Kh _b /Kh _c =1					N=2.5								
h(cm)	h(e)/H(mir)	t (s)	Q (b)	Q (b)moy	Q20 (base)	ΔQ	ΔQ20	Q (dr)	Q (dr)moy	Q20 (dr)	T(°c)	ΔQ	ΔQ20
20	0,61	60	16,1	0,268	0,331	0,0017	0,0020	16,1	0,258	0,289	16,8	0,0016	0,0018
		120	32					28,6					
		240	64,4					64,3					
		60	15,9	0,265				15	0,241		17,0		
		120	31,8					26,9					
		240	63,7					59,9					
22	0,67	60	18,2	0,295	0,358	0,0016	0,0019	24,2	0,401	0,477	16,6	0,0018	0,0021
		120	34,5					48,4					
		240	70,3					95,4					
		60	17,2	0,286				25,3	0,426		17,4		
		120	34,1					52,4					
		240	69					100,9					
24	0,73	60	19,1	0,321	0,395	0,0017	0,0020	31,5	0,527	0,578	16,6	0,0017	0,0019
		120	38,8					63,8					
		240	76,9					125,5					
		60	19,4	0,320				29,8	0,474		17,4		
		120	38,1					56					
		240	76,3					110,4					
26	0,79	60	21,9	0,362	0,437	0,0017	0,0019	41,2	0,682	0,692	16,6	0,0016	0,0018
		120	43,5					82,5					
		240	86,1					161					
		60	20,5	0,350				32,4	0,526		17,8		
		120	42,4					62,6					
		240	85					124,1					
28	0,85	60	23,6	0,392	0,475	0,0017	0,0019	50,6	0,853	0,949	16,6	0,0018	0,0020
		120	47,3					103,4					
		240	93,5					205,1					
		60	23	0,387				50	0,816		18,0		
		120	46,9					97					
		240	92,5					193,5					
29	0,88	60	24,4	0,407	0,494	0,0017	0,0020	57	0,942	1,043	16,6	0,0018	0,0020
		120	48,5					114,3					
		240	98,1					221,7					
		60	24,7	0,408				54,6	0,899		18,2		
		120	48,6					106,2					
		240	97,5					216,8					
30	0,91	60	24,9	0,419	0,512	0,0018	0,0020	61,5	1,027	1,208	16,6	0,0009	0,0010
		120	51,1					123,4					
		240	99,9					246,8					
		60	25,8	0,428					0,000		18,4		
		120	51,3										
		240	102,7										
31	0,94	60	26,4	0,446	0,535	0,0018	0,0020		0,000	0,000	16,6	#####	#####
		120	52,4										
		240	110,5										
		60	27,1	0,449					0,000		18,4		
		120	53,9										
		240	107,4										

Annexes I :

Kh _b /Kh _c =1					N=2								
h(cm)	h(e)/H(mir)	t (s)	Q (b)	Q (b)moy	Q20 (base)	ΔQ	ΔQ20	Q (dr)	Q (dr)moy	Q20 (dr)	T(°c)	ΔQ	ΔQ20
20	0,61	60	17,7	0,293	0,351	0,0018	0,0020	16	0,289	0,311	18,4	0,0018	0,0020
		120	35,1					36					
		240	70					72					
		60	18,6	0,313				15,9	0,273		17,2		
		120	38,1					32,2					
		240	74,4					68,8					
22	0,67	60	19,2	0,321	0,382	0,0018	0,0020	23	0,385	0,419	18,4	0,0017	0,0019
		120	38,9					44					
		240	76,2					97					
		60	19,6	0,340				22,6	0,376		17,4		
		120	41,8					44,4					
		240	82,6					91,3					
24	0,73	60	21	0,352	0,406	0,0017	0,0019	29	0,454	0,534	18,2	0,0017	0,0019
		120	42,1					53					
		240	85,5					105					
		60	20,5	0,349				30,5	0,514		17,6		
		120	42,6					62,6					
		240	84,3					122,9					
26	0,79	60	23	0,383	0,445	0,0017	0,0019	45	0,699	0,732	18,2	0,0016	0,0017
		120	45,9					81					
		240	91,7					161					
		60	23,5	0,387				35,5	0,630		17,6		
		120	46,5					79,2					
		240	91,3					153					
28	0,85	60	24,8	0,413	0,477	0,0017	0,0019	48	0,801	0,869	18,4	0,0018	0,0020
		120	49,5					96					
		240	99,1					193					
		60	24,9	0,415				47,4	0,784		17,6		
		120	49,8					93,5					
		240	99,4					187,7					
29	0,88	60	25,6	0,428	0,497	0,0018	0,0019	53	0,881	0,953	18,2	0,0018	0,0020
		120	51,5					104					
		240	102,9					214					
		60	27	0,439				50,6	0,857		17,8		
		120	51,6					101,8					
		240	104,8					211,3					
30	0,91	60	26,2	0,439	0,511	0,0018	0,0019	57	0,946	1,051	18,2	0,0018	0,0020
		120	52,9					112					
		240	105,2					229					
		60	26,7	0,452				59,6	0,970		17,8		
		120	54,2					117,5					
		240	110,1					225,1					
31	0,94	60	27,1	0,448	0,526	0,0018	0,0020	61	1,018	1,132	18	0,0019	0,0020
		120	52,9					120					
		240	108					249					
		60	27,9	0,470				61,7	1,035		17,8		
		120	56,7					122,5					
		240	113,7					253,6					

Annexes I :

Kh _b /Kh _c =1												N=1.5			
h(cm)	h(e)/H(mir)	t (s)	Q (b)	Q (b)moy	Q20 (base)	ΔQ	ΔQ20	Q (dr)	Q (dr)moy	Q20 (dr)	T(°c)	ΔQ	ΔQ20		
20	0,61	60	20,6	0,339	0,385	0,0017	0,0019	22,4	0,377	0,411	18	0,0017	0,0019		
		120	40,5					45,4							
		240	80,7					91,1							
		60	20,4	0,336				21,6	0,369		17,8				
		120	40					44,9							
		240	80,4					89,2							
22	0,67	60	22,4	0,373	0,425	0,0017	0,0019	28,2	0,477	0,531	18,4	0,0018	0,0020		
		120	44,8					56,3							
		240	89,7					117,7							
		60	22,5	0,372				29,5	0,492		17,6				
		120	44,3					58,2							
		240	89,1					119,7							
24	0,73	60	25,1	0,414	0,463	0,0017	0,0018	35,5	0,616	0,658	18,8	0,0018	0,0020		
		120	49,5					75,3							
		240	98,6					151							
		60	24,2	0,402				35,7	0,590		17,4				
		120	47,6					75,1							
		240	97,3					131,6							
26	0,79	60	27,3	0,446	0,500	0,0017	0,0018	44,1	0,762	0,847	19	0,0019	0,0021		
		120	53					94,4							
		240	106					183,3							
		60	26,6	0,438				46,9	0,787		17,2				
		120	52,2					95,8							
		240	104,9					187,3							
28	0,85	60	28,8	0,474	0,531	0,0017	0,0019	58,3	0,942	1,010	19	0,0017	0,0019		
		120	56,4					109,4							
		240	113,4					226,5							
		60	28,2	0,470				53,2	0,888		16,8				
		120	56,5					106,3							
		240	112,7					213,9							
29	0,88	60	32,8	0,542	0,601	0,0017	0,0019	56,8	1,003	1,097	18,6	0,0019	0,0021		
		120	64,3					124,2							
		240	130,4					246,4							
		60	32,1	0,533				59	0,966		16,8				
		120	64,4					114,4							
		240	126,6					230,7							
30	0,91	60	33,6	0,562	0,633	0,0018	0,0020	57	1,066	1,208	18,2	0,0021	0,0023		
		120	67,4					132,7							
		240	135,4					274							
		60	34	0,570				66,4	1,081		16,8				
		120	69,1					127,5							
		240	136,3					257,8							
31	0,94	60	35,8	0,588	0,657	0,0017	0,0020	67,1	1,143	1,313	18	0,0019	0,0022		
		120	70					139,5							
		240	140,1					275,5							
		60	35,8	0,593				69,7	1,167		16,6				
		120	70,9					140,3							
		240	142					280,9							

Annexes I :

Kh _b /Kh _c =1.1												N=3			
h(cm)	h(e)/H(mir)	t (s)	Q (b)	Q (b)moy	Q20 (base)	ΔQ	ΔQ20	Q (dr)	Q (dr)moy	Q20 (dr)	T(°c)	ΔQ	ΔQ20		
20	0,61	60	15,9	0,27	0,37	0,0017	0,0024	7,6	0,127	0,177	13,6	0,0017	0,0024		
		120	32,4					15,1							
		240	63,1					30,9							
		60	16	0,26				7,7	0,128		13,6				
		120	31,2					15,2							
		240	62,2					31,2							
22	0,67	60	17,7	0,29	0,39	0,0017	0,0023	12	0,188	0,242	13,4	0,0015	0,0020		
		120	35,7					22							
		240	68,5					43,3							
		60	17,2	0,29				10,5	0,170		15				
		120	35,3					20							
		240	69,9					40,7							
24	0,73	60	19,1	0,32	0,43	0,0017	0,0023	15,8	0,250	0,322	13,4	0,0016	0,0021		
		120	38,8					29,4							
		240	74,6					58,3							
		60	19,3	0,32				13,2	0,227		15				
		120	39,5					28,3							
		240	76,1					54,3							
26	0,79	60	26,3	0,43	0,51	0,0016	0,0020	15,8	0,266	0,359	15	0,0018	0,0023		
		120	51,4					33							
		240	103,4					62,6							
		60	21,8	0,36				17,5	0,294		15				
		120	43,7					35,6							
		240	85,5					70,6							
28	0,85	60	28	0,47	0,56	0,0016	0,0021	23	0,386	0,491	15,2	0,0017	0,0022		
		120	57,4					47,3							
		240	114,9					91,4							
		60	24,4	0,40				23,2	0,384		15				
		120	48,3					45,6							
		240	97					92,7							
29	0,88	60	29,5	0,49	0,59	0,0016	0,0021	27,3	0,450	0,567	15,2	0,0017	0,0022		
		120	59,3					53,9							
		240	118,4					106,8							
		60	27,2	0,43				26,7	0,440		15				
		120	50,7					52							
		240	102,7					106							
30	0,91	60	31	0,51	0,61	0,0016	0,0021	29,1	0,487	0,623	15,2	0,0018	0,0022		
		120	60,3					58,1							
		240	120,7					118,2							
		60	27,7	0,45				29,5	0,490		15				
		120	52,6					58,6							
		240	107					117,5							
31	0,94	60	26,1	0,49	0,61	0,0019	0,0025	37,2	0,582	0,715	15,4	0,0016	0,0020		
		120	63,9					67,9							
		240	122,8					134,7							
		60	28,6	0,48				32,8	0,546		15				
		120	57,2					65,8							
		240	113,8					130							

Annexes I :

Kh _b /Kh _c =1.1												N=2.5			
h(cm)	h(e)/H(mir)	t (s)	Q (b)	Q (b)moy	Q20 (base)	ΔQ	ΔQ20	Q (dr)	Q (dr)moy	Q20 (dr)	T(°c)	ΔQ	ΔQ20		
20	0,61	60	16,7	0,277	0,364	0,0017	0,0022	9,2	0,157	0,210	14,4	0,0017	0,0023		
		120	33,1					18,7							
		240	66,4					39							
		60	15,8	0,271				9,8	0,159		14,4				
		120	33,3					19,1							
		240	65,5					37,2							
22	0,67	60	18,1	0,309	0,403	0,0017	0,0023	14,6	0,236	0,308	14,4	0,0016	0,0022		
		120	36,6					28,2							
		240	76,7					54,9							
		60	18	0,303				14,3	0,231		14,6				
		120	36,2					27,8							
		240	73,6					53,8							
24	0,73	60	20,4	0,333	0,440	0,0017	0,0022	17,7	0,303	0,405	14,4	0,0018	0,0024		
		120	39,5					36,8							
		240	79,3					73,6							
		60	20,3	0,334				18,5	0,310		14,6				
		120	39,8					37,4							
		240	79,7					74,7							
26	0,79	60	21,7	0,361	0,473	0,0017	0,0023	24,7	0,400	0,524	14,6	0,0017	0,0022		
		120	43,3					47							
		240	86,4					95,5							
		60	22	0,364				24,7	0,404		14,8				
		120	43,8					47,9							
		240	86,6					96							
28	0,85	60	24,4	0,398	0,513	0,0017	0,0022	30,3	0,501	0,645	14,6	0,0017	0,0022		
		120	47,5					60,1							
		240	94,3					119,4							
		60	24,1	0,393				29,6	0,493		15				
		120	46,9					59,2							
		240	92,8					118,1							
29	0,88	60	24,5	0,412	0,531	0,0017	0,0023	33,3	0,550	0,705	14,6	0,0017	0,0022		
		120	50,2					65,5							
		240	98					132,1							
		60	24,2	0,407				32,2	0,536		15				
		120	49,3					64,1							
		240	97,5					128,7							
30	0,91	60	26	0,434	0,555	0,0017	0,0022	36,2	0,598	0,771	14,6	0,0017	0,0023		
		120	52,8					71,1							
		240	102,7					143,2							
		60	25,9	0,422				35,3	0,591		15				
		120	50					71,2							
		240	100,4					142							
31	0,94	60	26,2	0,434	0,568	0,0017	0,0023	38,5	0,638	0,831	14,6	0,0018	0,0023		
		120	51,8					76,1							
		240	104,3					153							
		60	26,3	0,441				38,9	0,644		15				
		120	53,5					77,2							
		240	105,6					153,7							

Annexes I :

Kh _b /Kh _c =1.1												N=2			
h(cm)	h(e)/H(mir)	t (s)	Q (b)	Q (b)moy	Q20 (base)	ΔQ	ΔQ20	Q (dr)	Q (dr)moy	Q20 (dr)	T(°c)	ΔQ	ΔQ20		
20	0,61	60	19,4	0,319	0,414	0,0017	0,0022	12,2	0,203	0,292	15,2	0,0018	0,0024		
		120	38,7					24,3							
		240	74,8					49,1							
		60	18,6	0,307				13,9	0,237		13,8				
		120	37,1					29,1							
		240	72,7					56,9							
22	0,67	60	21	0,351	0,455	0,0017	0,0022	16	0,268	0,385	15,2	0,0019	0,0025		
		120	42,2					32,2							
		240	84,3					64,3							
		60	20,1	0,335				18,4	0,310		13,6				
		120	40,1					37							
		240	80,4					75,6							
24	0,73	60	24	0,395	0,504	0,0017	0,0022	19,6	0,347	0,491	15,2	0,0020	0,0026		
		120	46,6					43,5							
		240	95,3					84,1							
		60	22,8	0,369				24,1	0,395		13,8				
		120	43,6					46,3							
		240	87,3					95,1							
26	0,79	60	26,3	0,434	0,551	0,0017	0,0022	26,6	0,437	0,606	15	0,0018	0,0024		
		120	51,8					51,8							
		240	103,6					104,8							
		60	24,6	0,401				28,2	0,480		14				
		120	47,3					57,6							
		240	95,6					117,5							
28	0,85	60	28,5	0,476	0,592	0,0017	0,0022	31,4	0,522	0,723	15,2	0,0018	0,0024		
		120	57,4					62,1							
		240	113,7					126,2							
		60	26,9	0,427				34,3	0,576		14				
		120	50					68,7							
		240	100					140,2							
29	0,88	60	28,8	0,488	0,607	0,0017	0,0022	33,4	0,573	0,784	15,2	0,0019	0,0025		
		120	58,9					70,2							
		240	118,2					138,8							
		60	27	0,444				37,2	0,626		14,2				
		120	53,2					75,9							
		240	105,3					150							
30	0,91	60	29,7	0,496	0,623	0,0017	0,0022	37,8	0,619	0,843	15	0,0018	0,0024		
		120	59,4					73,7							
		240	119,3					147,3							
		60	27,7	0,454				39,4	0,664		14,2				
		120	54,2					80,9							
		240	107,8					158,9							
31	0,94	60	27,5	0,452	0,602	0,0017	0,0023	45,2	0,744	0,972	15	0,0018	0,0023		
		120	54,5					88,5							
		240	106,4					178,2							
		60	27,9	0,465				44,8	0,737		14,2				
		120	55,6					88,6							
		240	111,8					174,4							

Annexes I :

Kh _b /Kh _c =1.1													
N=1.5													
h(cm)	h(e)/H(mir)	t (s)	Q (b)	Q (b)moy	Q20 (base)	ΔQ	ΔQ20	Q (dr)	Q (dr)moy	Q20 (dr)	T(°c)	ΔQ	ΔQ20
20	0,61	60	18,8	0,328	0,444	0,0018	0,0024	17,7	0,293	0,411	14,2	0,0018	0,0024
		120	40,3					35					
		240	80,3					70,2					
		60	20	0,333				17,4	0,318		14,2		
		120	39,8					39,8					
		240	80,1					80,1					
22	0,67	60	22,1	0,368	0,491	0,0017	0,0023	23,1	0,384	0,510	14,2	0,0017	0,0023
		120	44,2					46					
		240	88,5					92					
		60	21,8	0,362				22,8	0,376		14,2		
		120	43,1					45,1					
		240	87,4					89,5					
24	0,73	60	23,6	0,384	0,527	0,0017	0,0023	27,5	0,463	0,608	14,2	0,0017	0,0023
		120	43,7					55					
		240	94,6					113,1					
		60	25,4	0,406				26,8	0,448		14,4		
		120	48,1					53,3					
		240	94,5					109					
26	0,79	60	25,2	0,430	0,571	0,0018	0,0024	34,6	0,565	0,732	14,2	0,0017	0,0022
		120	52,6					66,9					
		240	103,8					134,9					
		60	26	0,430				32	0,537		14,6		
		120	51,6					64,7					
		240	102,5					129					
28	0,85	60	28	0,463	0,617	0,0017	0,0023	39,2	0,654	0,838	14,2	0,0017	0,0023
		120	55,2					79					
		240	110,8					155,9					
		60	27,9	0,466				36,2	0,608		14,6		
		120	55,7					73					
		240	112,7					147,2					
29	0,88	60	30,1	0,492	0,659	0,0017	0,0023	41,2	0,693	0,896	14,2	0,0017	0,0023
		120	57,7					84					
		240	118,6					166					
		60	30,6	0,501				39,1	0,656		14,6		
		120	59,8					79,2					
		240	118,8					157,7					
30	0,91	60	31,1	0,518	0,684	0,0018	0,0023	43	0,718	0,933	14,2	0,0018	0,0023
		120	61,9					87,8					
		240	125					169,2					
		60	31,4	0,518				42	0,695		14,8		
		120	61,8					82,2					
		240	123,8					168,1					
31	0,94	60	32,9	0,542	0,725	0,0018	0,0023	45,1	0,754	0,989	14,2	0,0018	0,0024
		120	64,6					90,3					
		240	129,3					181,6					
		60	35	0,557				44,8	0,746		14,8		
		120	64,5					89,5					
		240	132					178,6					

Annexes I :

Kh _b /Kh _c =1.3												N=3			
h(cm)	h(e)/H(mir)	t (s)	Q (b)	Q (b)moy	Q20 (base)	ΔQ	ΔQ20	Q (dr)	Q (dr)moy	Q20 (dr)	T(°c)	ΔQ	ΔQ20		
20	0,61	60	21,30	0,35	0,41	0,0017	0,0021	5,4	0,094	0,113	16,2	0,0018	0,0021		
		120	43,60					11,4							
		240	82,60					23,3							
		60	21,00	0,35				5,6	0,094		16,2				
		120	42,30					11,2							
		240	82,90					22,8							
22	0,67	60	24,90	0,40	0,47	0,0017	0,0020	8,6	0,143	0,165	16,4	0,0016	0,0019		
		120	46,70					18,3							
		240	91,60					32,2							
		60	25,90	0,41				8,5	0,135		16,6				
		120	49,60					15,8							
		240	95,20					31,5							
24	0,73	60	26,00	0,43	0,55	0,0019	0,0023	10,7	0,179	0,208	16	0,0017	0,0020		
		120	52,20					20,7							
		240	104,20					44,5							
		60	30,60	0,52				10,2	0,169		16,6				
		120	62,10					20,3							
		240	128,50					40,1							
26	0,79	60	31,00	0,50	0,61	0,0018	0,0022	14,7	0,249	0,294	15,8	0,0017	0,0020		
		120	59,80					28,9							
		240	118,50					62,4							
		60	37,30	0,58				14,2	0,236		16,2				
		120	75,70					28,1							
		240	114,10					56,7							
28	0,85	60	36,80	0,60	0,74	0,0019	0,0023	20,3	0,338	0,390	16	0,0017	0,0020		
		120	71,90					38,9							
		240	138,90					84,3							
		60	42,10	0,71				19	0,311		16,4				
		120	86,30					37,4							
		240	173,20					73,1							
29	0,88	60	37,70	0,65	0,72	0,0018	0,0021	23,3	0,391	0,454	16,2	0,0017	0,0020		
		120	81,10					47,8							
		240	156,80					92,9							
		60	36,00	0,61				22,1	0,365		16,2				
		120	77,00					44,1							
		240	144,70					86,4							
30	0,91	60	38,90	0,62	0,76	0,0018	0,0022	24,6	0,415	0,495	16,4	0,0018	0,0021		
		120	73,90					49,2							
		240	145,50					101,9							
		60	44,40	0,73				24,7	0,418		16,4				
		120	86,40					50,4							
		240	171,60					101,1							
31	0,94	60	40,90	0,67	0,82	0,0019	0,0023	32,5	0,562	0,636	16,4	0,0017	0,0021		
		120	80,90					63,4							
		240	157,80					148,1							
		60	48,20	0,80				30	0,503		16,2				
		120	95,50					60,4							
		240	192,00					121,2							

Annexes I :

Kh _b /Kh _c =1.3												N=2.5			
h(cm)	h(e)/H(mir)	t (s)	Q (b)	Q (b)moy	Q20 (base)	ΔQ	ΔQ20	Q (dr)	Q (dr)moy	Q20 (dr)	T(°c)	ΔQ	ΔQ20		
20	0,61	60	23,9	0,39	0,45	0,0017	0,0021	7,8	0,127	0,156	15,6	0,0016	0,0020		
		120	46,1					14,7							
		240	93,8					30,7							
		60	23,6	0,39				7,4	0,125		15,6				
		120	46					14,7							
		240	92,3					30,8							
22	0,67	60	24,1	0,42	0,49	0,0018	0,0022	10,8	0,176	0,285	15,6	0,0022	0,0027		
		120	52					20,2							
		240	99,5					43							
		60	25,3	0,43				17,2	0,286		15,8				
		120	52,4					34,1							
		240	100,9					69							
24	0,73	60	27,4	0,45	0,53	0,0018	0,0022	14,1	0,233	0,286	15,6	0,0017	0,0021		
		120	54,1					27,6							
		240	108,6					55,9							
		60	29,8	0,47				13,9	0,231		15,8				
		120	56					27,7							
		240	110,4					55,3							
26	0,79	60	31	0,51	0,59	0,0018	0,0021	18,8	0,312	0,377	15,6	0,0017	0,0021		
		120	60					37,8							
		240	120,2					73,8							
		60	32,4	0,53				18,2	0,302		16				
		120	62,6					36,7							
		240	124,1					71,4							
28	0,85	60	31,7	0,54	0,62	0,0018	0,0022	23,1	0,382	0,466	15,6	0,0017	0,0021		
		120	65,3					45,2							
		240	130,6					92,1							
		60	34	0,55				23,2	0,381		16,2				
		120	64					45,7							
		240	133,5					90							
29	0,88	60	34,9	0,57	0,66	0,0018	0,0022	26,4	0,432	0,520	15,8	0,0017	0,0021		
		120	68,5					51,3							
		240	132,9					103,1							
		60	36,9	0,61				25,3	0,424		16,2				
		120	73,8					51,2							
		240	140,5					101,8							
30	0,91	60	35,3	0,59	0,69	0,0018	0,0022	29,2	0,481	0,582	16	0,0017	0,0021		
		120	70,6					57,3							
		240	139,3					115,2							
		60	39,5	0,64				28,8	0,482		16,2				
		120	80,4					57,7							
		240	144,4					116,5							
31	0,94	60	35,4	0,60	0,70	0,0009	0,0011	32,5	0,530	0,651	16,2	0,0018	0,0021		
		120	71,7					64,8							
		240	146,2					121,9							
		60		0,00				33,7	0,561		16,4				
		120						67,1							
		240						134,6							

Annexes I :

Kh _b /Kh _c =1.3											N=2			
h(cm)	h(e)/H(mir)	t (s)	Q (b)	Q (b)moy	Q20 (base)	ΔQ	ΔQ20	Q (dr)	Q (dr)moy	Q20 (dr)	T(°c)	ΔQ	ΔQ20	
20	0,61	60	26	0,42	0,51	0,0018	0,0021	9,5	0,160	0,178	17	0,0016	0,0019	
		120	51					18,7						
		240	97					39,5						
		60	33	0,50				9,2	0,148		16,8			
		120	58					17,7						
		240	108,5					34,5						
22	0,67	60	29	0,47	0,52	0,0017	0,0020	12,9	0,216	0,238	17	0,0016	0,0019	
		120	56					25,7						
		240	112					52,4						
		60	29,2	0,47				11,6	0,196		16,8			
		120	56,2					23,7						
		240	110,5					47,1						
24	0,73	60	32	0,52	0,58	0,0017	0,0020	17,9	0,290	0,359	17	0,0018	0,0021	
		120	63					33,9						
		240	119					69,5						
		60	32,4	0,54				20	0,329		16,8			
		120	63,9					41,9						
		240	130,9					73,4						
26	0,79	60	34	0,59	0,65	0,0018	0,0021	22,1	0,367	0,434	17	0,0018	0,0020	
		120	73					43,3						
		240	140					88,9						
		60	35,9	0,59				23,1	0,382		16,8			
		120	71,1					45,8						
		240	142,2					91,3						
28	0,85	60	39	0,64	0,71	0,0018	0,0020	26,6	0,446	0,527	17	0,0018	0,0021	
		120	77					53,3						
		240	153					107,8						
		60	39,4	0,65				28,8	0,469		17			
		120	77,2					55,5						
		240	157,5					111,5						
29	0,88	60	40	0,67	0,74	0,0018	0,0021	29,1	0,492	0,572	17,2	0,0018	0,0021	
		120	80					58,8						
		240	159					120,1						
		60	41,7	0,68				29,6	0,505		17			
		120	82					61,5						
		240	161,9					122,4						
30	0,91	60	42	0,69	0,78	0,0018	0,0021	33,2	0,548	0,638	17,2	0,0018	0,0020	
		120	83					64,8						
		240	163					131,8						
		60	43,8	0,73				33,6	0,565		17			
		120	84,8					68,2						
		240	180,8					136,3						
31	0,94	60	43	0,71	0,80	0,0018	0,0021	36,2	0,597	0,707	17,2	0,0018	0,0021	
		120	85					70,9						
		240	170					143,2						
		60	44,7	0,74				38,3	0,637		17			
		120	87,1					76,4						
		240	178,8					152,4						

Annexes I :

Kh _b /Kh _c =1.3												N=1.5			
h(cm)	h(e)/H(mir)	t (s)	Q (b)	Q (b)moy	Q20 (base)	ΔQ	ΔQ20	Q (dr)	Q (dr)moy	Q20 (dr)	T(°c)	ΔQ	ΔQ20		
20	0,61	60	31,5	0,50	0,54	0,0016	0,0019	14,5	0,232	0,260	17,2	0,0016	0,0018		
		120	58					27,1			17,2				
		240	114,7					54,8							
		60	30,2	0,49				13,6	0,224		17,2				
		120	57											26,5	
		240	114,6											53,9	
22	0,67	60	33,9	0,55	0,59	0,0017	0,0019	19,1	0,308	0,342	17,2	0,0016	0,0018		
		120	64,4					36,5			17,2				
		240	129,9					72							
		60	32,1	0,53				17,2	0,292		17,2				
		120	63,5											35,2	
		240	128,1											70,8	
24	0,73	60	38,5	0,60	0,66	0,0017	0,0019	23,4	0,389	0,430	17,4	0,0017	0,0019		
		120	70,2					46,8			17,2				
		240	140,1					93							
		60	36,7	0,60				22	0,369		17,2				
		120	71,1											44	
		240	140,9											89,4	
26	0,79	60	39,2	0,65	0,71	0,0018	0,0020	29,7	0,492	0,540	17,4	0,0017	0,0019		
		120	77,7					60,1			17,4				
		240	154,4					115,5							
		60	40,3	0,64				28,1	0,464		17,4				
		120	76,7											55,3	
		240	149,4											111,2	
28	0,85	60	41,2	0,68	0,75	0,0018	0,0020	33,2	0,578	0,650	17,6	0,0018	0,0021		
		120	80,9					71,4			17,4				
		240	165,6					140,5							
		60	41,4	0,68				34,8	0,579		17,4				
		120	81,6											69,2	
		240	161,1											139,3	
29	0,88	60	43,4	0,72	0,79	0,0017	0,0020	45,6	0,753	0,817	17,8	0,0017	0,0019		
		120	86,9					90,2			17,4				
		240	173,3					179,1							
		60	41,8	0,69				42,5	0,709		17,4				
		120	82,1											84,3	
		240	165,1											172	
30	0,91	60	45,8	0,77	0,84	0,0018	0,0020	49,3	0,822	0,916	17,8	0,0018	0,0020		
		120	93,7					99,5			17,4				
		240	183,5					195,9							
		60	44,4	0,73				49	0,815		17,4				
		120	87,1											97,8	
		240	171,5											195,5	
31	0,94	60	46,9	0,78	0,87	0,0018	0,0020	52	0,875	0,983	18	0,0018	0,0021		
		120	94,2					106			17,4				
		240	186,1					210,2							
		60	45,5	0,75				53,5	0,891		17,4				
		120	90,3											106,2	
		240	176,9											215,1	

Annexes I :

Kh _b /Kh _c =1 (crêt=16.5)												N=1.5			
h(cm)	h(e)/H(mir)	t (s)	Q (b)	Q (b)moy	Q20 (base)	ΔQ	ΔQ20	Q (dr)	Q (dr)moy	Q20 (dr)	T(°c)	ΔQ	ΔQ20		
20	0,61	60	16,00	0,252	0,235	0,0016	0,0015	22,20	0,366	0,343	21,5	0,0017	0,0016		
		120	29,20					43,30							
		240	58,80					88,40							
		60	15,50	0,250				22,30	0,365		21,5				
		120	29,50					43,70							
		240	59,00					86,40							
22	0,67	60	16,70	0,272	0,255	0,0017	0,0016	26,50	0,454	0,424	21,5	0,0018	0,0017		
		120	32,20					54,60							
		240	64,60					111,60							
		60	16,80	0,271				27,20	0,451		21,5				
		120	31,90					53,60							
		240	64,30					108,40							
24	0,73	60	18,80	0,302	0,279	0,0016	0,0015	34,30	0,576	0,538	21,5	0,0018	0,0017		
		120	35,90					70,10							
		240	70,40					137,10							
		60	17,80	0,293				34,60	0,572		21,5				
		120	34,80					69,00							
		240	70,00					135,20							
26	0,79	60	19,90	0,323	0,293	0,0017	0,0015	42,90	0,702	0,638	22,0	0,0017	0,0016		
		120	38,50					82,80							
		240	76,10					168,10							
		60	18,70	0,314				41,20	0,688		22,0				
		120	37,50					83,10							
		240	76,30					164,10							
28	0,85	60	20,30	0,337	0,311	0,0017	0,0016	52,90	0,866	0,777	22,0	0,0017	0,0016		
		120	40,40					103,20							
		240	80,90					205,20							
		60	21,00	0,341				50,10	0,826		22,0				
		120	40,70					98,40							
		240	79,90					197,20							
29	0,88	60	21,10	0,349	0,328	0,0018	0,0016	56,90	0,931	0,849	22,0	0,0018	0,0016		
		120	41,80					112,00							
		240	83,00					218,40							
		60	22,90	0,366				55,30	0,917		22,0				
		120	43,20					109,80							
		240	85,60					219,20							
30	0,91	60	21,50	0,365	0,339	0,0018	0,0016	59,90	0,997	0,921	22,0	0,0018	0,0017		
		120	43,50					119,90							
		240	90,00					238,50							
		60	23,40	0,373				61,40	1,008		22,0				
		120	43,70					119,10							
		240	87,50					241,70							
31	0,94	60	22,50	0,372	0,355	0,0018	0,0016	65,70	1,081	0,993	22,0	0,0018	0,0017		
		120	44,80					119,40							
		240	88,10					276,90							
		60	24,10	0,401				65,60	1,080		22,0				
		120	47,20					129,80							
		240	97,90					255,30							

Annexes I :

Kh _b /Kh _c =1 (crêt =13)												N=2			
h(cm)	h(e)/H(mir)	t (s)	Q (b)	Q (b)moy	Q20 (base)	ΔQ	ΔQ20	Q (dr)	Q (dr)moy	Q20 (dr)	T(°c)	ΔQ	ΔQ20		
20	0,61	60	22,90	0,396	0,370	0,0018	0,0017	9,10	0,152	0,142	21,5	0,0017	0,0016		
		120	47,70					19,00							
		240	98,10					35,00							
		60	23,60	0,394				9,20	0,150		21,5				
		120	48,00					18,10							
		240	93,10					35,30							
22	0,67	60	25,60	0,420	0,394	0,0017	0,0016	14,50	0,242	0,226	21,5	0,0017	0,0016		
		120	50,00					29,50							
		240	99,70					57,20							
		60	25,80	0,420				14,30	0,240		21,5				
		120	49,80					29,20							
		240	99,60					57,30							
24	0,73	60	26,50	0,446	0,418	0,0018	0,0016	21,10	0,353	0,326	21,5	0,0017	0,0016		
		120	52,80					42,50							
		240	109,70					85,10							
		60	27,00	0,446				20,50	0,343		21,5				
		120	53,00					41,30							
		240	106,80					82,10							
26	0,79	60	29,80	0,487	0,457	0,0017	0,0016	29,40	0,479	0,444	21,5	0,0017	0,0016		
		120	57,40					57,60							
		240	116,40					112,20							
		60	29,70	0,488				29,50	0,467		21,5				
		120	58,60					54,50							
		240	115,70					109,30							
28	0,85	60	33,10	0,537	0,498	0,0017	0,0016	36,50	0,603	0,530	21,5	0,0017	0,0015		
		120	63,80					71,00							
		240	126,40					146,40							
		60	33,20	0,537				33,20	0,537		22,0				
		120	63,30					63,30							
		240	127,20					127,20							
29	0,88	60	34,30	0,582	0,531	0,0018	0,0016	41,40	0,692	0,635	21,5	0,0018	0,0016		
		120	70,00					82,30							
		240	141,60					168,10							
		60	35,30	0,561				41,50	0,675		22,0				
		120	66,30					82,70							
		240	130,30					154,80							
30	0,91	60	36,00	0,608	0,550	0,0017	0,0016	45,20	0,753	0,704	21,5	0,0018	0,0017		
		120	75,40					90,50							
		240	143,30					180,10							
		60	34,20	0,576				45,80	0,764		22,0				
		120	70,30					90,70							
		240	137,40					185,60							
31	0,94	60	36,60	0,596	0,556	0,0018	0,0016	49,40	0,808	0,761	22,0	0,0018	0,0017		
		120	68,90					96,50							
		240	144,80					190,90							
		60	37,70	0,616				51,00	0,848		22,0				
		120	72,70					101,30							
		240	147,00					204,20							

Annexes I :

Kh _b /Kh _c =1 (crêt =9.5)												N=2.5			
h(cm)	h(e)/H(mir)	t (s)	Q (b)	Q (b)moy	Q20 (base)	ΔQ	ΔQ20	Q (dr)	Q (dr)moy	Q20 (dr)	T(°c)	ΔQ	ΔQ20		
20	0,61	60	18,60	0,308	0,281	0,0017	0,0016	8,80	0,148	0,130	22,5	0,0017	0,0015		
		120	36,40					18,20							
		240	74,80					34,70							
		60	19,40	0,315				8,40	0,142		22,5				
		120	37,00					17,00							
		240	75,10					34,30							
22	0,67	60	20,80	0,343	0,311	0,0017	0,0015	14,10	0,245	0,219	22,5	0,0018	0,0016		
		120	41,20					31,00							
		240	81,00					58,10							
		60	21,10	0,348				14,30	0,240		22,5				
		120	41,70					28,80							
		240	82,50					58,20							
24	0,73	60	21,90	0,376	0,342	0,0018	0,0016	22,20	0,372	0,326	22,5	0,0017	0,0015		
		120	46,80					45,20							
		240	89,70					88,90							
		60	23,30	0,383				21,20	0,352		22,5				
		120	46,10					41,80							
		240	90,50					85,10							
26	0,79	60	27,30	0,447	0,397	0,0017	0,0015	32,50	0,531	0,459	22,5	0,0017	0,0015		
		120	51,40					62,80							
		240	110,00					126,60							
		60	26,20	0,434				30,00	0,490		22,5				
		120	51,30					58,20							
		240	104,90					116,10							
28	0,85	60	29,00	0,473	0,513	0,0021	0,0019	41,40	0,684	0,608	22,5	0,0017	0,0016		
		120	57,00					82,70							
		240	110,30					161,80							
		60	41,60	0,666				41,60	0,666		22,5				
		120	79,00					79,00							
		240	155,40					155,40							
29	0,88	60	29,70	0,495	0,451	0,0018	0,0016	45,80	0,765	0,669	22,5	0,0017	0,0016		
		120	59,40					93,00							
		240	119,00					181,60							
		60	30,90	0,505				43,30	0,722		22,5				
		120	60,60					85,00							
		240	119,10					176,40							
30	0,91	60	32,00	0,533	0,476	0,0018	0,0016	49,50	0,836	0,731	22,5	0,0018	0,0016		
		120	63,90					101,90							
		240	128,00					199,90							
		60	32,50	0,534				49,20	0,803		23,0				
		120	63,10					97,70							
		240	128,40					185,80							
31	0,94	60	33,40	0,552	0,507	0,0018	0,0016	57,60	0,948	0,836	23,0	0,0018	0,0016		
		120	67,40					113,30							
		240	129,20					225,30							
		60	35,20	0,597				57,10	0,947		23,0				
		120	77,10					114,00							
		240	135,10					225,60							

Annexes I :

Kh _b /K _{hc} =1 (crêt =6)												N=3	
h(cm)	h(e)/H(mir)	t (s)	Q (b)	Q (b)moy	Q20 (base)	ΔQ	ΔQ20	Q (dr)	Q (dr)moy	Q20 (dr)	T(°c)	ΔQ	ΔQ20
20	0,61	60	20,3	0,334	0,350	0,0017	0,0018	7,80	0,130	0,134	16,8	0,0017	0,0017
		120	40,1					15,80					
		240	79,2					30,90					
		60	20	0,331				7,40	0,125		21,5		
		120	39,8					15,20					
		240	78,7					30,20					
22	0,67	60	22,7	0,364	0,420	0,0017	0,0019	13,70	0,223	0,254	16,6	0,0016	0,0019
		120	42,6					25,50					
		240	86,1					54,60					
		60	22,4	0,364				13,50	0,217		17,4		
		120	43,4					25,80					
		240	85,8					50,80					
24	0,73	60	24,6	0,407	0,465	0,0017	0,0020	21,20	0,359	0,400	16,6	0,0017	0,0020
		120	49,1					42,50					
		240	96,1					88,50					
		60	24,9	0,400				20,10	0,334		17,4		
		120	47,1					41,10					
		240	94,5					78,10					
26	0,79	60	26,5	0,431	0,497	0,0017	0,0020	30,50	0,508	0,562	16,6	0,0017	0,0019
		120	52,7					62,10					
		240	99					119,70					
		60	27,3	0,439				28,70	0,474		17,8		
		120	51,5					57,40					
		240	104,2					112,00					
28	0,85	60	30,1	0,489	0,551	0,0017	0,0019	41,70	0,687	0,776	16,6	0,0018	0,0020
		120	58,2					84,00					
		240	115,5					159,70					
		60	29,3	0,480				42,10	0,679		18,0		
		120	56,2					80,70					
		240	116					158,90					
29	0,88	60	31,9	0,538	0,594	0,0017	0,0020	48,50	0,786	0,884	16,6	0,0017	0,0020
		120	66,7					92,20					
		240	126,4					187,80					
		60	30,1	0,510				48,10	0,776		18,2		
		120	62,5					92,90					
		240	122					180,50					
30	0,91	60	35,9	0,585	0,638	0,0017	0,0019	51,60	0,860	0,972	16,6	0,0018	0,0020
		120	70,1					102,40					
		240	137,6					207,90					
		60	33,5	0,547				51,50	0,867		18,4		
		120	65,5					103,90					
		240	128,6					210,20					
31	0,94	60	40,1	0,643	0,690	0,0016	0,0018	56,70	0,940	1,076	16,6	0,0018	0,0021
		120	77,9					112,30					
		240	146,4					225,30					
		60	35,3	0,580				56,90	0,973		18,4		
		120	69,3					117,50					
		240	137,6					237,80					

Annexes I :

Kh _b /Kh _c =1.3 (crêt =16.5)												N=1.5			
h(cm)	h(e)/H(mir)	t (s)	Q (b)	Q (b)moy	Q20 (base)	ΔQ	ΔQ20	Q (dr)	Q (dr)moy	Q20 (dr)	T(°c)	ΔQ	ΔQ20		
20	0,61	60	27,90	0,452	0,394	0,0017	0,0015	16,80	0,272	0,239	23,0	0,0017	0,0015		
		120	53,70					32,60							
		240	106,60					63,10							
		60	25,80	0,441				16,60	0,269		23,0				
		120	53,80					32,00							
		240	106,70					63,30							
22	0,67	60	30,90	0,517	0,451	0,0017	0,0015	21,90	0,341	0,306	23,0	0,0016	0,0015		
		120	66,60					38,10							
		240	115,40					81,80							
		60	29,20	0,506				21,50	0,353		23,0				
		120	66,00					42,50							
		240	115,20					83,20							
24	0,73	60	37,00	0,619	0,512	0,0017	0,0015	20,00	0,326	0,338	23,0	0,0020	0,0017		
		120	74,80					39,40							
		240	148,00					76,00							
		60	33,40	0,542				26,30	0,439		23,0				
		120	67,10					53,00							
		240	122,30					104,70							
26	0,79	60	37,00	0,620	0,515	0,0017	0,0015	28,80	0,475	0,441	23,0	0,0018	0,0016		
		120	75,00					57,30							
		240	148,20					111,90							
		60	32,40	0,548				31,80	0,524		23,0				
		120	66,90					64,40							
		240	130,90					121,20							
28	0,85	60	39,60	0,660	0,565	0,0017	0,0015	35,30	0,574	0,526	23,0	0,0018	0,0016		
		120	80,00					68,60							
		240	157,10					134,70							
		60	37,60	0,619				37,60	0,619		23,0				
		120	73,70					73,70							
		240	147,90					147,90							
29	0,88	60	40,40	0,670	0,578	0,0017	0,0015	36,40	0,613	0,553	23,0	0,0018	0,0016		
		120	80,70					75,20							
		240	159,10					145,10							
		60	38,80	0,640				38,70	0,641		23,0				
		120	76,60					77,10							
		240	152,70					152,70							
30	0,91	60	42,90	0,708	0,604	0,0017	0,0015	41,60	0,657	0,599	23,0	0,0017	0,0015		
		120	87,10					77,20							
		240	163,80					152,30							
		60	40,90	0,661				42,50	0,701		23,0				
		120	78,00					83,70							
		240	156,00					167,20							
31	0,94	60	44,70	0,739	0,642	0,0017	0,0015	42,10	0,686	0,631	23,0	0,0018	0,0016		
		120	88,80					78,80							
		240	176,00					167,90							
		60	46,20	0,714				44,20	0,743		23,0				
		120	83,10					90,70							
		240	163,30					177,10							

Annexes I :

Kh _b /Kh _c =1.3 (crêt =13)												N=2			
h(cm)	h(e)/H(mir)	t (s)	Q (b)	Q (b)moy	Q20 (base)	ΔQ	ΔQ20	Q (dr)	Q (dr)moy	Q20 (dr)	T(°c)	ΔQ	ΔQ20		
20	0,61	60	22,00	0,378	0,335	0,0018	0,0016	13,90	0,231	0,195	23,0	0,0016	0,0014		
		120	46,40					29,00							
		240	91,30					53,00							
		60	22,60	0,382				12,70	0,209		23,0				
		120	46,30					24,00							
		240	92,00					52,00							
22	0,67	60	25,60	0,431	0,384	0,0018	0,0016	19,70	0,326	0,276	23,0	0,0016	0,0014		
		120	53,00					39,80							
		240	101,90					76,20							
		60	26,70	0,440				17,40	0,299		23,0				
		120	53,10					36,20							
		240	103,70					73,10							
24	0,73	60	29,40	0,471	0,421	0,0017	0,0015	25,50	0,420	0,357	23,0	0,0017	0,0015		
		120	54,90					50,60							
		240	111,40					98,90							
		60	30,50	0,482				23,20	0,388		23,0				
		120	55,60					47,00							
		240	114,00					92,90							
26	0,79	60	29,60	0,497	0,442	0,0018	0,0016	31,30	0,511	0,433	23,5	0,0017	0,0015		
		120	60,00					62,00							
		240	119,40					119,00							
		60	31,00	0,514				28,80	0,480		23,0				
		120	63,50					57,50							
		240	119,00					115,50							
28	0,85	60	32,50	0,551	0,486	0,0018	0,0016	42,60	0,649	0,539	23,5	0,0015	0,0014		
		120	68,30					72,40							
		240	130,30					151,90							
		60	33,60	0,560				35,40	0,584		23,0				
		120	67,10					69,50							
		240	134,90					140,00							
29	0,88	60	38,30	0,607	0,530	0,0017	0,0015	40,50	0,662	0,558	23,5	0,0017	0,0015		
		120	70,40					79,60							
		240	142,70					155,70							
		60	38,40	0,605				36,80	0,614		23,0				
		120	69,30					78,20							
		240	143,40					138,70							
30	0,91	60	39,20	0,624	0,553	0,0017	0,0015	44,80	0,734	0,620	23,5	0,0017	0,0015		
		120	74,70					87,30							
		240	143,30					174,50							
		60	38,90	0,640				41,90	0,685		23,0				
		120	76,40					81,60							
		240	152,60					162,10							
31	0,94	60	39,30	0,643	0,557	0,0017	0,0015	47,70	0,785	0,695	23,5	0,0018	0,0016		
		120	77,20					94,20							
		240	151,40					185,70							
		60	39,40	0,631				50,40	0,806		23,0				
		120	67,20					99,60							
		240	162,30					179,40							

Annexes I :

Kh _b /K _{hc} =1.3 (crêt =9.5)												N=2.5			
h(cm)	h(e)/H(mir)	t (s)	Q (b)	Q (b)moy	Q20 (base)	ΔQ	ΔQ20	Q (dr)	Q (dr)moy	Q20 (dr)	T(°c)	ΔQ	ΔQ20		
20	0,61	60	21,7	0,34	0,33	0,0016	0,0016	14,2	0,242	0,230	21	0,0018	0,0017		
		120	39,3					29,8							
		240	80,2					58,1							
		60	21,2	0,35				15,3	0,243		21,5				
		120	40,5					27,8							
		240	83,1					56							
22	0,67	60	23,2	0,38	0,35	0,0017	0,0016	19,3	0,318	0,301	21	0,0017	0,0016		
		120	46,1					37,8							
		240	88,8					75,9							
		60	22,6	0,37				18,9	0,318		21,5				
		120	43					39,3							
		240	86,8					74,5							
24	0,73	60	25,7	0,42	0,39	0,0017	0,0016	25,6	0,424	0,393	21,5	0,0017	0,0016		
		120	49,2					51,2							
		240	97,9					100,7							
		60	26,6	0,42				24,7	0,406		21				
		120	48,2					48							
		240	97,2					97,4							
26	0,79	60	29,8	0,46	0,43	0,0016	0,0015	31,5	0,488	0,465	22	0,0017	0,0016		
		120	54,3					52,3							
		240	105					120,8							
		60	28	0,45				29,8	0,504		21				
		120	53,4					61,5							
		240	105,5					120,6							
28	0,85	60	31	0,50	0,45	0,0016	0,0015	38,2	0,645	0,591	22	0,0018	0,0016		
		120	59,4					78,7							
		240	115,8					154,3							
		60	28,1	0,47				37	0,616		21				
		120	58,1					75,2							
		240	110					145							
29	0,88	60	31,2	0,52	0,47	0,0017	0,0016	44,3	0,725	0,654	22	0,0017	0,0016		
		120	62					86,1							
		240	122,2					172,3							
		60	31,4	0,51				41,1	0,686		21,5				
		120	60,2					81,4							
		240	118,9					166,4							
30	0,91	60	31,6	0,53	0,49	0,0018	0,0016	47,7	0,793	0,737	22	0,0018	0,0017		
		120	62,4					95,1							
		240	128,3					190							
		60	32,6	0,53				48,1	0,796		21,5				
		120	62,9					97,2							
		240	126,3					186,2							
31	0,94	60	32	0,54	0,50	0,0018	0,0017	52	0,847	0,801	22	0,0018	0,0017		
		120	62,7					102,4							
		240	135,4					196,9							
		60	34,5	0,55				53,1	0,879		21,5				
		120	63,2					104,7							
		240	128,4					211,4							

Annexes I :

Kh _b /Kh _c =1.3 (crêt =6)				N=3									
h(cm)	h(e)/H(mir)	t (s)	Q (b)	Q (b)moy	Q20 (base)	ΔQ	ΔQ20	Q (dr)	Q (dr)moy	Q20 (dr)	T(°c)	ΔQ	ΔQ20
20	0,61	60	27,6	0,45	0,39	0,0016	0,0015	7,8	0,129	0,143	21,5	0,0020	0,0019
		120	52,8					16,7					
		240	104,6					28,4					
		60	21,9	0,38				10,1	0,175		21,5		
		120	44,6					21,8					
		240	99,6					37,5					
22	0,67	60	27,5	0,46	0,42	0,0017	0,0016	12,4	0,213	0,222	21	0,0020	0,0018
		120	56					26					
		240	111,1					51,7					
		60	23,9	0,42				16,1	0,262		22		
		120	53,9					31,1					
		240	100,5					61,9					
24	0,73	60	30,6	0,52	0,45	0,0017	0,0015	18,2	0,302	0,306	21,5	0,0019	0,0017
		120	62,4					36,3					
		240	126,4					72,3					
		60	26,8	0,45				21,8	0,357		22		
		120	54,2					42,5					
		240	107,2					84,7					
26	0,79	60	31,4	0,52	0,47	0,0017	0,0016	25,6	0,424	0,410	21,5	0,0018	0,0017
		120	61,7					51,6					
		240	126,1					99,7					
		60	29,4	0,49				26,8	0,459		22		
		120	57,9					55,7					
		240	119,3					112,1					
28	0,85	60	33,6	0,58	0,52	0,0018	0,0016	34,1	0,568	0,545	21,5	0,0018	0,0017
		120	72,6					65					
		240	138					142,8					
		60	32,4	0,54				36,6	0,606		22		
		120	66,1					72,7					
		240	125,6					144,6					
29	0,88	60	37,2	0,63	0,55	0,0017	0,0016	39,9	0,667	0,606	22	0,0018	0,0016
		120	75,4					80,3					
		240	150,7					160					
		60	35,7	0,57				38,8	0,651		22		
		120	69,3					77,3					
		240	131,1					159,2					
30	0,91	60	35,9	0,63	0,56	0,0018	0,0017	42,9	0,720	0,684	22	0,0019	0,0017
		120	78,2					87,9					
		240	153,1					170,8					
		60	35,2	0,59				47,1	0,769		22		
		120	70,4					91,6					
		240	144,1					182,2					
31	0,94	60	37,8	0,65	0,58	0,0018	0,0016	47,2	0,829	0,766	22	0,0019	0,0017
		120	80					107,7					
		240	155,4					193					
		60	37,1	0,62				50,3	0,837		22		
		120	73,7					99,9					
		240	148,3					201,8					

Annexes I :

Kh _b /Kh _c =1.1 (crêt =16.5)											N=1.5				
h(cm)	h(e)/H(mir)	t (s)	Q (b)	Q (b)moy	Q20 (base)	ΔQ	ΔQ20	Q (dr)	Q (dr)moy	Q20 (dr)	T(°c)	ΔQ	ΔQ20		
20	0,61	60	35,20	0,578	0,535	0,0017	0,0016	12,50	0,203	0,188	21,5	0,0016	0,0015		
		120	68,20												
		240	138,80												
		60	33,40	0,564				11,90	0,197		21,5				
		120	68,20												
		240	136,10												
22	0,67	60	39,00	0,626	0,571	0,0017	0,0016	16,00	0,271	0,248	21,5	0,0017	0,0016		
		120	73,80												
		240	146,80												
		60	37,10	0,605				16,20	0,263		22,0				
		120	70,10												
		240	146,80												
24	0,73	60	42,10	0,680	0,629	0,0017	0,0016	21,00	0,362	0,333	21,5	0,0018	0,0016		
		120	81,10												
		240	158,80												
		60	42,40	0,676				21,50	0,356		22,0				
		120	79,40												
		240	158,60												
26	0,79	60	44,80	0,729	0,682	0,0017	0,0016	28,20	0,463	0,429	21,5	0,0017	0,0016		
		120	87,50												
		240	170,50												
		60	43,60	0,727				27,10	0,450		21,5				
		120	85,90												
		240	176,90												
28	0,85	60	48,10	0,777	0,721	0,0017	0,0016	33,80	0,556	0,522	21,5	0,0017	0,0016		
		120	92,00												
		240	183,30												
		60	46,60	0,760				33,70	0,558		21,5				
		120	90,20												
		240	180,30												
29	0,88	60	50,10	0,785	0,738	0,0017	0,0016	37,80	0,619	0,572	21,5	0,0017	0,0016		
		120	93,90												
		240	177,00												
		60	48,80	0,789				36,10	0,601		21,5				
		120	94,80												
		240	183,20												
30	0,91	60	48,60	0,807	0,768	0,0018	0,0017	38,20	0,645	0,612	21,5	0,0018	0,0017		
		120	98,30												
		240	190,00												
		60	50,60	0,830				39,20	0,660		21,5				
		120	100,20												
		240	194,80												
31	0,94	60	44,50	0,798	0,769	0,0020	0,0019	43,60	0,716	0,679	21,5	0,0018	0,0017		
		120	96,90												
		240	202,40												
		60	50,70	0,843				44,80	0,733		21,5				
		120	102,40												
		240	199,10												

Annexes I :

Kh _b /Kh _c =1.1 (crêt =13)											N=2				
h(cm)	h(e)/H(mir)	t (s)	Q (b)	Q (b)moy	Q20 (base)	ΔQ	ΔQ20	Q (dr)	Q (dr)moy	Q20 (dr)	T(°c)	ΔQ	ΔQ20		
20	0,61	60	29,00	0,476	0,432	0,0017	0,0016	12,70	0,200	0,176	22,0	0,0015	0,0014		
		120	57,30					25,30							
		240	112,40					42,60							
		60	28,20	0,465				11,20	0,183		22,0				
		120	55,60					21,70							
		240	110,70					43,50							
22	0,67	60	16,60	0,292	0,363	0,0024	0,0022	16,60	0,292	0,255	22,0	0,0017	0,0016		
		120	39,00					39,00							
		240	66,00					66,00							
		60	29,10	0,488				15,60	0,258		21,5				
		120	58,60					30,00							
		240	117,90					63,30							
24	0,73	60	36,20	0,599	0,535	0,0017	0,0016	24,20	0,388	0,334	22,0	0,0016	0,0014		
		120	72,50					47,30							
		240	141,60					87,60							
		60	32,00	0,554				20,50	0,334		21,5				
		120	67,30					40,90							
		240	136,20					76,50							
26	0,79	60	39,40	0,678	0,600	0,0017	0,0016	30,40	0,472	0,413	22,0	0,0015	0,0014		
		120	86,70					53,70							
		240	156,80					110,50							
		60	35,50	0,604				25,50	0,411		21,0				
		120	73,90					47,70							
		240	144,80					98,60							
28	0,85	60	42,50	0,697	0,635	0,0017	0,0016	33,50	0,557	0,492	22,0	0,0017	0,0016		
		120	82,80					67,20							
		240	166,40					132,80							
		60	39,60	0,658				29,80	0,494		21,0				
		120	79,20					59,20							
		240	156,60					117,80							
29	0,88	60	44,10	0,733	0,666	0,0017	0,0016	37,90	0,636	0,560	22,0	0,0017	0,0016		
		120	88,20					78,00							
		240	175,00					150,50							
		60	40,10	0,688				30,00	0,558		21,0				
		120	83,80					70,00							
		240	167,50					142,00							
30	0,91	60	46,60	0,760	0,693	0,0017	0,0016	41,60	0,665	0,622	22,0	0,0017	0,0016		
		120	90,80					78,60							
		240	179,20					155,20							
		60	43,90	0,719				40,10	0,661		21,0				
		120	87,00					77,80							
		240	168,20					160,00							
31	0,94	60	43,10	0,755	0,713	0,0019	0,0018	42,00	0,697	0,660	22,5	0,0018	0,0017		
		120	93,10					83,20							
		240	185,00					167,60							
		60	46,50	0,778				44,00	0,723		21,0				
		120	94,00					85,90							
		240	186,40					173,10							

Annexes I :

Kh _b /Kh _c =1.1 (crêt =9.5)													
N=2.5													
H (cm)	h(e)/H(mir)	t (s)	Q (b)	Q (b)moy	Q20 (base)	ΔQ	ΔQ20	Q (dr)	Q (dr)moy	Q20 (dr)	T (°c)	ΔQ	ΔQ20
20	0,61	60	27	0,43	0,450	0,0017	0,0017	8,8	0,154	0,156	19	0,0017	0,0018
		120	50,8					20					
		240	101,5					35,5					
		60	26,3	0,43				8,7	0,144		19		
		120	51					17,2					
		240	100,5					34,9					
22	0,67	60	29,9	0,48	0,494	0,0017	0,0017	14	0,238	0,235	19	0,0016	0,0017
		120	58,4					30,6					
		240	112,6					53,9					
		60	27,6	0,46				12,8	0,213		19		
		120	54,2					25,3					
		240	111,6					51,2					
24	0,73	60	33,9	0,56	0,568	0,0017	0,0018	20,3	0,339	0,340	19,5	0,0017	0,0017
		120	67,1					41,5					
		240	135,6					79,8					
		60	33,4	0,54				19,1	0,319		19		
		120	63,3					38,2					
		240	125,7					76,7					
26	0,79	60	37,3	0,59	0,612	0,0017	0,0017	26,2	0,441	0,439	19,5	0,0017	0,0017
		120	68,2					53,5					
		240	142,3					105,6					
		60	36,2	0,60				24,8	0,418		19,5		
		120	74,5					51					
		240	139,7					99,9					
28	0,85	60	40,6	0,66	0,675	0,0017	0,0018	35	0,595	0,578	19,5	0,0017	0,0017
		120	79,2					76,2					
		240	155,5					136,3					
		60	40,6	0,66				31,1	0,535		19,5		
		120	78,7					64,3					
		240	154,3					132					
29	0,88	60	44,1	0,72	0,730	0,0017	0,0018	40,9	0,676	0,664	19,5	0,0017	0,0017
		120	85,4					82,3					
		240	168					158,2					
		60	43,8	0,71				37,2	0,623		19,5		
		120	84,6					73,7					
		240	167,8					152,3					
30	0,91	60	44,8	0,75	0,753	0,0018	0,0018	46,5	0,761	0,738	20	0,0017	0,0017
		120	90,3					89,8					
		240	178,1					182,3					
		60	45,2	0,74				43	0,700		19,5		
		120	88,9					80,8					
		240	175,6					170,3					
31	0,94	60	49,3	0,79	0,825	0,0018	0,0018	48,3	0,815	0,827	20	0,0018	0,0019
		120	91,9					99,5					
		240	185,9					194,4					
		60	52,5	0,84				50,3	0,821		19,5		
		120	99					97,4					
		240	199,4					195,1					

Annexes I :

Kh _b /Kh _c =1.1 (crêt =6)												N=3			
h(cm)	h(e)/H(mir)	t (s)	Q (b)	Q (b)moy	Q20 (base)	ΔQ	ΔQ20	Q (dr)	Q (dr)moy	Q20 (dr)	Τ(°c)	ΔQ	ΔQ20		
20	0,61	60	23,8	0,39	0,391	0,0017	0,0017	9,2	0,149	0,146	19,5	0,0016	0,0016		
		120	45,9					18,4							
		240	90,8					33,5							
		60	23,3	0,38				8,3	0,137		19,5				
		120	44,5					16,2							
		240	91,1					32,3							
22	0,67	60	25,5	0,43	0,442	0,0018	0,0018	13,3	0,218	0,224	19,5	0,0017	0,0017		
		120	50,8					25,8							
		240	103,1					51,9							
		60	26,5	0,44				13,5	0,220		19,5				
		120	52,8					26							
		240	104,1					52,5							
24	0,73	60	32,8	0,51	0,500	0,0016	0,0016	19,6	0,329	0,322	19,5	0,0017	0,0017		
		120	58,2					40							
		240	117,2					78,5							
		60	29,1	0,48				18,3	0,308		20				
		120	57,5					36,8							
		240	115,1					74,9							
26	0,79	60	33	0,55	0,549	0,0017	0,0018	26,7	0,439	0,436	19,5	0,0017	0,0017		
		120	67,7					52,7							
		240	127,4					103,8							
		60	32,5	0,54				25,7	0,423		20				
		120	65,4					50,4							
		240	125,5					100,8							
28	0,85	60	36,4	0,61	0,606	0,0017	0,0018	36,2	0,594	0,594	19,5	0,0017	0,0017		
		120	74					71,2							
		240	145,5					140,2							
		60	36,4	0,59				35,3	0,581		20				
		120	69,8					69,2							
		240	138,8					139							
29	0,88	60	38,3	0,63	0,632	0,0017	0,0018	41,9	0,702	0,704	19,5	0,0018	0,0018		
		120	75,7					85,7							
		240	150,3					166,2							
		60	37,2	0,62				42	0,691		20				
		120	74,4					84,5							
		240	147,5					160,4							
30	0,91	60	40,6	0,66	0,668	0,0018	0,0018	48,2	0,797	0,802	20	0,0018	0,0018		
		120	78,2					95,9							
		240	156,3					189,1							
		60	41,5	0,68				49,4	0,807		20				
		120	80,2					96,5							
		240	160,3					190,3							
31	0,94	60	43	0,69	0,707	0,0018	0,0018	69,6	1,005	0,912	20	0,0015	0,0015		
		120	81,2					113,5							
		240	161,8					217,9							
		60	43,6	0,73				49,3	0,819		20				
		120	86,7					98,2							
		240	174,5					196,3							

Annexes II :

Les charge en mesuré avec les piézomètres de modèle $\frac{K_{hb}}{K_{hc}} = 1$ pour chaque pente :

Kh _b /Kh _c =1		N=3						
h(cm)	h(e)/H(mir)	P1 (cm)	P2(cm)	P3 (cm)	P4 (cm)	P5 (cm)	P6 (cm)	P7 (cm)
20	0,61							
22	0,67	7,20		10,30	11,80	14,50	16,20	18,300
24	0,73	7,40	7,80	11,40	13,50	16,40	18,50	19,700
26	0,79	8,30	8,10	12,80	15,10	18,90	21,40	
28	0,85	8,50	9,00	14,00	16,60	21,30		
29	0,88	9,30	9,30	15,10	17,90			
30	0,91	9,40	9,40	16,00	18,90			
31	0,94	9,50	9,50	16,40				

Kh _b /Kh _c =1		N=2.5							
h(cm)	h(e)/H(mir)	P1 (cm)	P2 (cm)	P3 (cm)	P4 (cm)	P5 (cm)	P6 (cm)	P7 (cm)	P8 (cm)
20	0,61	8,20	8,00	13,70	15,00	13,30	15,80	18,00	19,10
22	0,67	8,50	8,40	13,80	16,40	15,50	18,00	20,50	21,00
24	0,73	9,10	8,90	15,00	18,00	17,5	20,00	22,50	23,00
26	0,79	9,50	9,50	16,60	14,50	20,00	22,50	24,70	25,00
28	0,85	9,55	9,80	17,50	14,30	21,80	24,30	26,80	27,00
29	0,88	9,60	9,90	18,10	16,90	23,00	25,30	27,60	27,90
30	0,91	9,70	9,90	18,30	17,4	23,20	25,90	28,60	29,40
31	0,94	9,80	9,90	18,50					

Kh _b /Kh _c =1			N=2						
h(cm)	h(e)/H(mir)	P (cm)	P2 (cm)	P3 (cm)	P4 (cm)	P5 (cm)	P6 (cm)	P7 (cm)	P8 (cm)
20	0,61	8,30	8,20	13,30	15,90	14,70	17,50	18,80	19,80
22	0,67	8,40	8,50	14,50	17,80	17,00	19,20	21,60	21,80
24	0,73	8,50	9,00	15,50	18,30	19,5	21,50	23,80	23,80
26	0,79	8,60	9,30	17,00	16,20	23,80	24,90	25,80	25,80
28	0,85	9,60	10,00	18,30	17,60	24,20	25,60	27,80	27,80
29	0,88	9,60	10,20	14,30	18,50	25,00	28,30	28,70	28,80
30	0,91	9,70	10,30	14,20	18	27,00	27,20	29,80	29,80
31	0,94	10,00	10,30	14,70	17,3	28,00	28,50	30,80	30,80

Kh _b /Kh _c =1			N=1.5						
h(cm)	h(e)/H(mir)	P (cm)	P2 (cm)	P3 (cm)	P4 (cm)	P5 (cm)	P6 (cm)	P7 (cm)	P8 (cm)
20	0,61	8,80	8,70	14,40	16,60	16,50	18,30	18,30	19,80
22	0,67	8,70	9,00	15,70	18,50	20,30	21,10	21,10	21,80
24	0,73	9,20	9,50	16,50	15,30	22,3	23,10	23,10	23,80
26	0,79	9,50	9,80	17,40	16,60	24,30	25,00	25,00	25,80
28	0,85	9,90	10,00	18,50	17,20	26,00	26,70	26,70	27,80
29	0,88	10,00	10,30	19,00	18,50	27,20	27,70	27,70	28,70
30	0,91	9,90	10,40	15,00	18,8	28,10	28,70	28,70	29,80
31	0,94	10,00	10,50	13,50	19,8	29,00	29,80	29,80	30,80

Annexes II :

Les charges en mesuré avec les piézomètres de modèle $\frac{K_h b}{K_h c} = 1.1$ pour chaque pente :

Kh _b /Kh _c =1.1		N=3							
h(cm)	h(e)/H(mir)	P (cm)	P2 (cm)	P3 (cm)	P4 (cm)	P5 (cm)	P6 (cm)	P7 (cm)	P8 (cm)
20	0,61	7,30	7,90	11,00	13,50	16,20	15,00	18,30	19,80
22	0,67	7,40	7,90	12,00	15,00	18,20	17,90	18,50	21,80
24	0,73	7,80	8,70	13,00	16,40	15,1	20,00	21,50	23,80
26	0,79	8,10	9,00	14,00	17,80	17,5	21,80	23,50	25,80
28	0,85	8,30	9,80	15,20	14,10	19,3	23,40	25,30	27,80
29	0,88	8,50	10,10	15,30	15,00	20,0	23,50	25,80	28,50
30	0,91	8,40	9,40	15,50	14,80	21,0	23,80	26,80	29,80
31	0,94	8,40	10,20	15,60	15,50	21,5	25,40	27,50	30,00

Kh _b /Kh _c =1.1		N=2.5							
h(cm)	h(e)/H(mir)	P (cm)	P2 (cm)	P3 (cm)	P4 (cm)	P5 (cm)	P6 (cm)	P7 (cm)	P8 (cm)
20	0,61	7,00	8,00	11,50	13,90	17,00	17,10	17,80	19,30
22	0,67	7,50	8,20	12,50	15,40	14,50	20,00	20,10	21,30
24	0,73	7,20	8,70	13,20	16,60	16,20	22,00	22,30	23,20
26	0,79	8,70	9,00	14,20	18,00	18,80	23,50	23,90	25,10
28	0,85	8,40	9,50	15,20	14,40	20,10	24,70	25,90	27,10
29	0,88	8,50	9,70	15,40	12,40	20,90	25,00	26,50	28,00
30	0,91	8,60	9,70	15,80	15,50	22,00	25,20	27,50	29,00
31	0,94	9,70	9,70	16,00	15,50	22,00	25,80	28,10	29,40

Kh _b /Kh _c =1.1		N=2							
h(cm)	h(e)/H(mir)	P (cm)	P2 (cm)	P3 (cm)	P4 (cm)	P5 (cm)	P6 (cm)	P7 (cm)	P8 (cm)
20	0,61	7,50	8,40	12,50	15,00	17,80	21,30	22,70	23,80
22	0,67	8,00	8,80	13,60	16,50	19,60	23,30	24,70	25,80
24	0,73	8,20	9,00	14,40	18,00	20,00	25,20	27,00	27,80
26	0,79	8,50	9,40	15,00	18,00	24,30	26,90	28,70	29,80
28	0,85	8,60	9,70	15,80	19,50	25,20	28,50	30,50	31,60
29	0,88	8,80	10,00	16,40	19,50	26,00	29,00	30,80	32,30
30	0,91	8,90	9,80	16,40	21,80	27,00	30,50	32,50	33,80
31	0,94	9,00	10,00	16,80	21,00	27,00	30,20	32,50	34,50

Kh _b /Kh _c =1.1		N=1.5						
h(cm)	h(e)/H(mir)	P (cm)	P2 (cm)	P3 (cm)	P4 (cm)	P5 (cm)	P6 (cm)	P7 (cm)
20	0,61	7,50	8,40	12,10	16,00	19,30	22,20	23,80
22	0,67	8,00	8,90	13,20	17,50	21,00	24,20	25,80
24	0,73	8,20	9,10	13,60	18,00	22,00	26,00	27,80
26	0,79	8,50	9,80	14,70	19,00	24,00	28,00	29,80
28	0,85	8,60	10,00	15,30	20,10	26,00	29,50	31,80
29	0,88	8,80	10,00	15,50	21,00	27,00	30,50	32,80
30	0,91	8,90	10,30	15,90	22,00	27,80	31,50	33,50
31	0,94	9,00	10,30	16,30	21,40	28,00	32,00	34,50

Annexes II :

Les charges en mesuré avec les piézomètres de modèle $\frac{K_{hb}}{K_{hc}} = 1.3$ pour chaque pente :

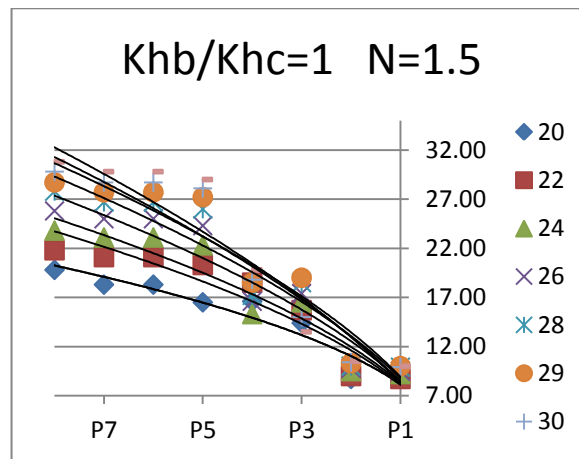
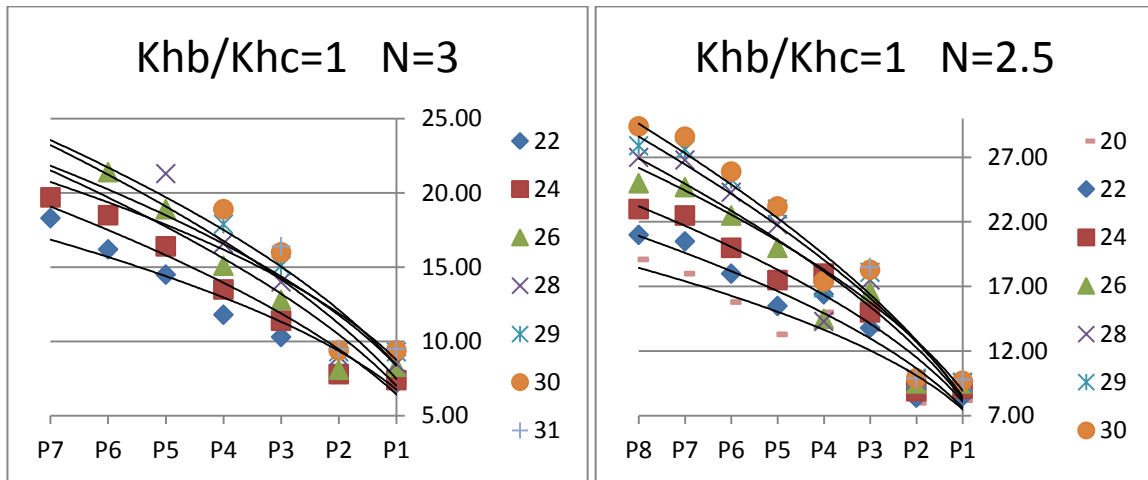
Kh _b /Kh _c =1.3		N=3							
h(cm)	h(e)/H(mir)	P (cm)	P2 (cm)	P3 (cm)	P4 (cm)	P5 (cm)	P6 (cm)	P7 (cm)	P8 (cm)
20	0,61	7,00	7,20	9,70	13,10	16,50	19,10	22,30	23,10
22	0,67	7,20	7,40	10,60	14,60	18,10	24,30	23,20	25,10
24	0,73	7,60	7,80	10,50	16,20	20,40	24,30	27,00	27,00
26	0,79	8,00	8,20	10,50	17,60	22,30	25,60	28,70	29,00
28	0,85	8,30	8,80	10,70	19,00	24,00	27,20	30,20	31,20
29	0,88	8,30	9,00	11,00	19,80	24,50	28,20	31,10	32,10
30	0,91	8,30	9,50	11,50	20,50	26,00	29,60	32,00	33,10
31	0,94	8,30	8,90	10,70	21,00	26,20	29,60	32,80	33,50

Kh _b /Kh _c =1.3		N=2.5							
h(cm)	h(e)/H(mir)	P (cm)	P2 (cm)	P3 (cm)	P4 (cm)	P5 (cm)	P6 (cm)	P7 (cm)	P8 (cm)
20	0,61	7,20	7,30	9,40	13,80	17,70	20,50	22,40	23,70
22	0,67	7,40	7,50	9,40	14,50	19,00	22,00	24,00	25,60
24	0,73	7,60	7,70	9,40	15,90	20,80	23,60	25,80	27,60
26	0,79	7,70	8,20	9,40	17,60	22,50	26,10	28,20	29,70
28	0,85	8,20	8,60	9,60	18,50	24,20	27,40	29,70	31,50
29	0,88	8,30	8,80	9,50	19,30	24,20	28,60	31,00	32,60
30	0,91	8,30	8,90	9,60	19,40	25,60	29,30	32,00	33,60
31	0,94	8,40	8,90	9,70	19,40	26,30	28,60	32,30	33,90

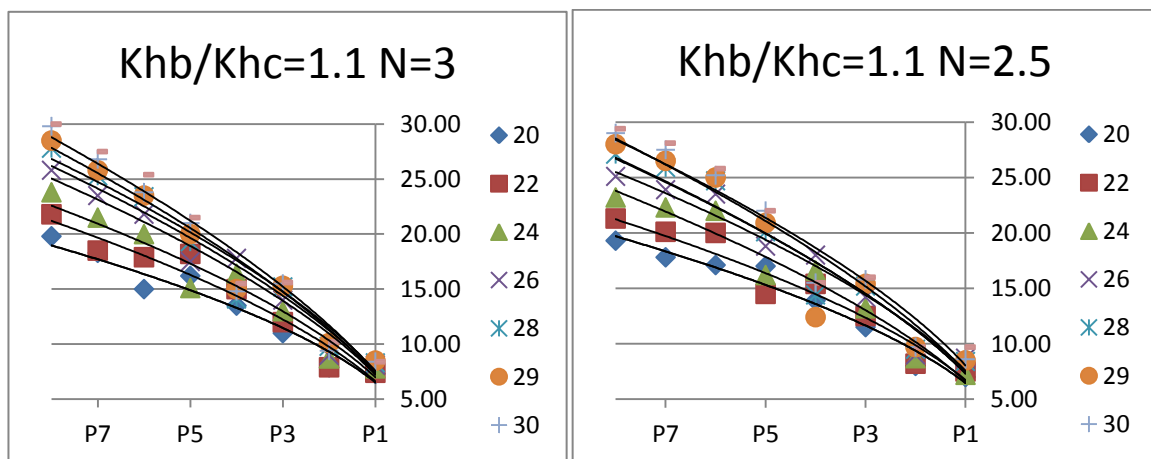
Kh _b /Kh _c =1.3		N=2							
h(cm)	h(e)/H(mir)	P (cm)	P2 (cm)	P3 (cm)	P4 (cm)	P5 (cm)	P6 (cm)	P7 (cm)	P8 (cm)
20	0,61	7,30	7,40	11,30	14,70	18,60	20,50	23,00	23,70
22	0,67	7,60	7,70	12,10	15,90	20,40	25,30	25,00	25,70
24	0,73	7,90	8,00	12,90	17,30	21,60	27,40	27,70	27,80
26	0,79	8,20	8,40	13,60	18,50	23,00	28,80	29,40	29,60
28	0,85	8,30	8,60	14,10	19,10	24,80	30,00	30,60	31,60
29	0,88	8,50	8,80	14,40	19,70	28,90	30,50	31,70	32,60
30	0,91	8,90	8,90	14,40	19,80	26,00	30,70	32,70	33,40
31	0,94	8,90	9,00	14,50	19,80	26,60	31,00	33,30	34,20

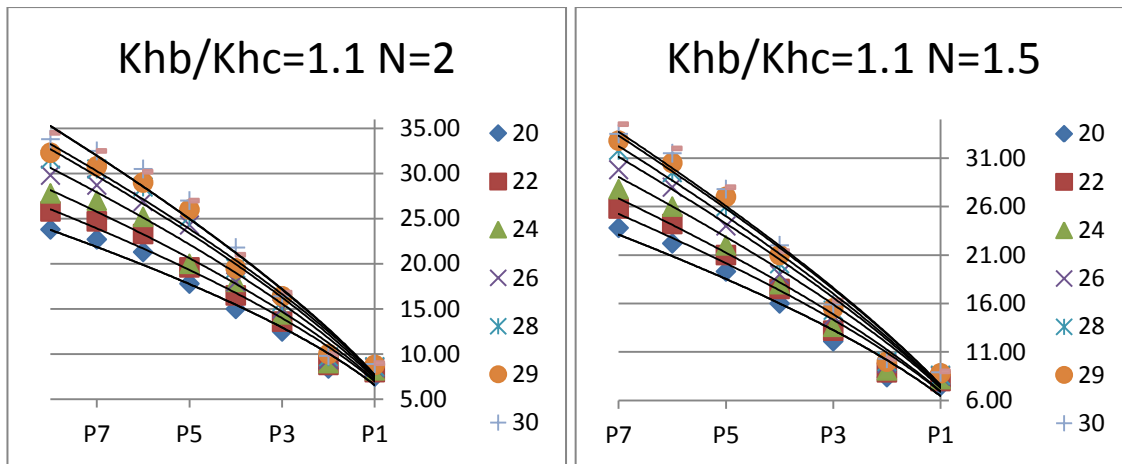
Kh _b /Kh _c =1.3		N=1.5						
h(cm)	h(e)/H(mir)	P (cm)	P2 (cm)	P3 (cm)	P4 (cm)	P5 (cm)	P6 (cm)	P7 (cm)
20	0,61	7,20	7,40	11,00	15,20	19,50	22,60	23,90
22	0,67	7,40	7,70	12,00	16,60	20,90	24,40	25,90
24	0,73	7,60	8,00	12,80	17,90	22,60	26,30	27,90
26	0,79	7,80	8,20	13,50	19,10	24,10	28,00	29,80
28	0,85	8,30	8,50	14,30	21,30	25,90	30,20	31,90
29	0,88	8,60	9,30	16,60	28,80	28,20	31,50	32,90
30	0,91	8,70	9,50	17,20	31,60	29,60	32,30	33,90
31	0,94	8,80	9,70	17,50	31,50	30,50	33,50	34,60

La charge d'eau devant le drain pour $\frac{K_{hb}}{K_{hc}} = 1$ pour chaque pente :

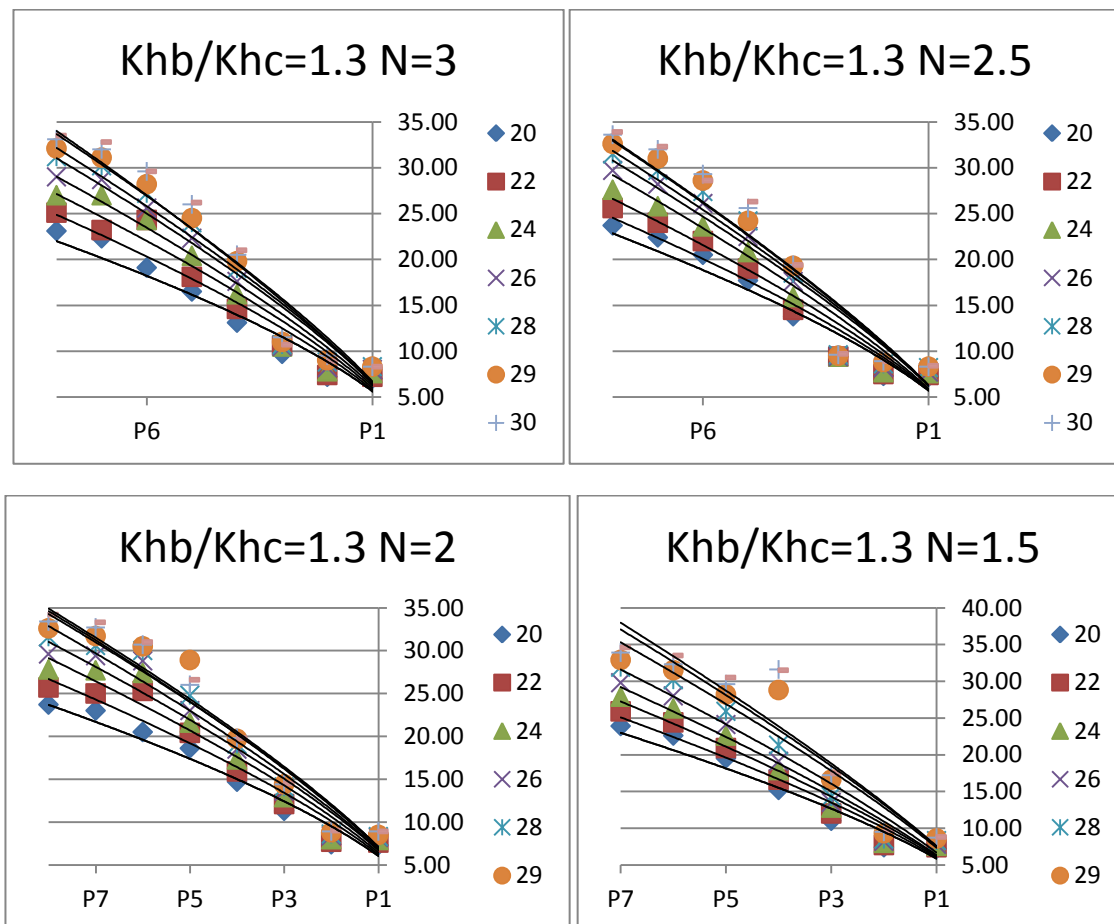


La charge d'eau devant le drain pour $\frac{K_{hb}}{K_{hc}} = 1.1$ pour chaque pente :





La charge d'eau devant le drain pour $\frac{K_{hb}}{K_{hc}}=1.3$ pour chaque pente :



Annexes II :

Les charges en mesuré avec les piézomètres de modèle $\frac{K_h b}{K_h c} = 1$ avec crete varie pour chaque pente :

Kh _b /Kh _c =1		N=1.5							
h(cm)	h(e)/H(mir)	P1 (cm)	P2(cm)	P3 (cm)	P4 (cm)	P5 (cm)	P6 (cm)	P7 (cm)	P8 (cm)
20	0,61	8,20	8,50	12,00	14,50	18,70	23,40	23,50	23,80
22	0,67	8,50	9,00	13,00	16,10	20,60	25,10	25,50	25,80
24	0,73	9,10	9,50	13,70	17,20	22,70	26,50	27,50	27,80
26	0,79	9,60	10,00	14,50	18,60	24,20	28,50	29,00	29,50
28	0,85	10,00	10,40	15,50	20,00	26,10	30,30	32,00	32,10
29	0,88	10,30	10,60	16,20	21,00	28,10	30,90	33,00	33,10
30	0,91	10,50	10,80	16,40	21,60	29,00	31,30	34,00	34,50
31	0,94	10,50	10,90	17,00	20,90	29,00	30,10	34,00	34,50

Kh _b /Kh _c =1		N=2							
h(cm)	h(e)/H(mir)	P1 (cm)	P2(cm)	P3 (cm)	P4 (cm)	P5 (cm)	P6 (cm)	P7 (cm)	P8 (cm)
20	0,61	7,80	8,00	11,80	13,50	17,10	22,00	23,50	23,80
22	0,67	8,00	8,30	12,10	14,50	19,00	23,50	25,00	25,60
24	0,73	8,40	8,80	13,10	16,10	21,30	25,70	28,20	28,40
26	0,79	9,00	9,20	13,60	17,10	22,50	26,70	29,60	29,60
28	0,85	9,50	9,70	14,80	19,30	23,50	28,60	31,90	32,00
29	0,88	9,80	10,10	15,50	20,10	25,70	29,70	33,00	33,40
30	0,91	9,90	10,20	16,00	20,70	26,40	30,00	33,30	33,70
31	0,94	10,00	10,40	15,60	20,50	27,30	29,70	33,20	34,30

Kh _b /Kh _c =1		N=2.5							
h(cm)	h(e)/H(mir)	P1 (cm)	P2(cm)	P3 (cm)	P4 (cm)	P5 (cm)	P6 (cm)	P7 (cm)	P8 (cm)
20	0,61	7,30	7,70	10,70	12,40	15,50	18,50	21,80	22,60
22	0,67	7,80	8,00	11,60	13,80	18,00	21,00	24,50	24,60
24	0,73	8,20	8,50	12,80	15,50	19,90	23,40	26,00	26,70
26	0,79	7,90	9,10	14,00	17,10	22,30	25,50	28,20	28,90
28	0,85	8,00	9,50	14,90	18,70	24,50	27,30	29,40	30,50
29	0,88	8,30	9,80	15,40	19,50	25,20	28,00	30,00	32,00
30	0,91	8,50	9,90	15,70	20,00	25,50	28,70	30,00	33,00
31	0,94	9,90	10,20	15,50	20,20	25,00	29,30	31,00	33,40

Kh _b /Kh _c =1		N=3							
h(cm)	h(e)/H(mir)	P1 (cm)	P2(cm)	P3 (cm)	P4 (cm)	P5 (cm)	P6 (cm)	P7 (cm)	P8(cm)
20	0,61	7,10	7,40	10,00	11,60	15,00	20,00	21,60	23,30
22	0,67	7,80	8,00	11,60	13,60	17,50	19,60	21,50	24,00
24	0,73	8,30	8,60	12,80	15,50	20,50	23,30	23,50	26,60
26	0,79	8,40	9,40	14,00	17,40	23,00	25,30	29,10	28,60
28	0,85	9,50	9,70	14,50	18,50	24,50	29,00	29,90	30,50
29	0,88	10,00	10,30	15,50	19,40	25,00	30,50	30,00	31,50
30	0,91	10,20	10,40	15,90	19,80	26,00	31,20	30,50	32,00
31	0,94	10,30	10,50	15,70	19,50	27,00	30,00	32,80	33,50

Annexes II :

Les charges en mesuré avec les piézomètres de modèle $\frac{K_{hb}}{K_{hc}} = 1.3$ avec crete varie pour chaque pente :

Kh _b /Kh _c =1.3		N=1.5							
h(cm)	h(e)/H(mir)	P1 (cm)	P2(cm)	P3 (cm)	P4 (cm)	P5 (cm)	P6 (cm)	P7 (cm)	P8(cm)
20	0,61	7,10	7,40	10,00	11,60	15,00	20,00	21,60	23,30
22	0,67	7,80	8,00	11,60	13,60	17,50	19,60	21,50	24,00
24	0,73	8,30	8,60	12,80	15,50	20,50	23,30	23,50	26,60
26	0,79	8,40	9,40	14,00	17,40	23,00	25,30	29,10	28,60
28	0,85	9,50	9,70	14,50	18,50	24,50	29,00	29,90	30,50
29	0,88	10,00	10,30	15,50	19,40	25,00	30,50	30,00	31,50
30	0,91	10,20	10,40	15,90	19,80	26,00	31,20	30,50	32,00
31	0,94	10,30	10,50	15,70	19,50	27,00	30,00	32,80	33,50

Kh _b /Kh _c =1.3		N=2							
h(cm)	h(e)/H(mir)	P1 (cm)	P2(cm)	P3 (cm)	P4 (cm)	P5 (cm)	P6 (cm)	P7 (cm)	P8(cm)
20	0,61	7,10	7,40	10,00	11,60	15,00	20,00	21,60	23,30
22	0,67	7,80	8,00	11,60	13,60	17,50	19,60	21,50	24,00
24	0,73	8,30	8,60	12,80	15,50	20,50	23,30	23,50	26,60
26	0,79	8,40	9,40	14,00	17,40	23,00	25,30	29,10	28,60
28	0,85	9,50	9,70	14,50	18,50	24,50	29,00	29,90	30,50
29	0,88	10,00	10,30	15,50	19,40	25,00	30,50	30,00	31,50
30	0,91	10,20	10,40	15,90	19,80	26,00	31,20	30,50	32,00
31	0,94	10,30	10,50	15,70	19,50	27,00	30,00	32,80	33,50

Kh _b /Kh _c =1.3		N=2.5							
h(cm)	h(e)/H(mir)	P1 (cm)	P2(cm)	P3 (cm)	P4 (cm)	P5 (cm)	P6 (cm)	P7 (cm)	P8(cm)
20	0,61	7,10	7,40	10,00	11,60	15,00	20,00	21,60	23,30
22	0,67	7,80	8,00	11,60	13,60	17,50	19,60	21,50	24,00
24	0,73	8,30	8,60	12,80	15,50	20,50	23,30	23,50	26,60
26	0,79	8,40	9,40	14,00	17,40	23,00	25,30	29,10	28,60
28	0,85	9,50	9,70	14,50	18,50	24,50	29,00	29,90	30,50
29	0,88	10,00	10,30	15,50	19,40	25,00	30,50	30,00	31,50
30	0,91	10,20	10,40	15,90	19,80	26,00	31,20	30,50	32,00
31	0,94	10,30	10,50	15,70	19,50	27,00	30,00	32,80	33,50

Kh _b /Kh _c =1.3		N=3							
h(cm)	h(e)/H(mir)	P1 (cm)	P2(cm)	P3 (cm)	P4 (cm)	P5 (cm)	P6 (cm)	P7 (cm)	P8(cm)
20	0,61	6,50	8,00	9,80	13,00	16,70	20,40	23,80	23,90
22	0,67	7,30	8,50	10,80	15,00	19,40	25,00	25,80	25,90
24	0,73	7,40	9,00	11,60	16,20	20,90	27,50	28,50	28,80
26	0,79	8,00	9,50	12,40	17,30	22,70	29,00	29,50	29,80
28	0,85	8,40	10,00	13,10	18,60	24,40	30,50	31,80	31,90
29	0,88	8,70	10,20	13,20	19,40	25,80	30,00	31,50	31,90
30	0,91	8,90	10,30	13,70	19,70	26,50	33,30	33,50	33,80
31	0,94	9,00	10,50	20,30	28,00	34,00	35,00	35,20	35,90

Annexes II :

Les charges en mesuré avec les piézomètres de modèle $\frac{K_h b}{K_h c} = 1.1$ avec crete varie pour chaque pente :

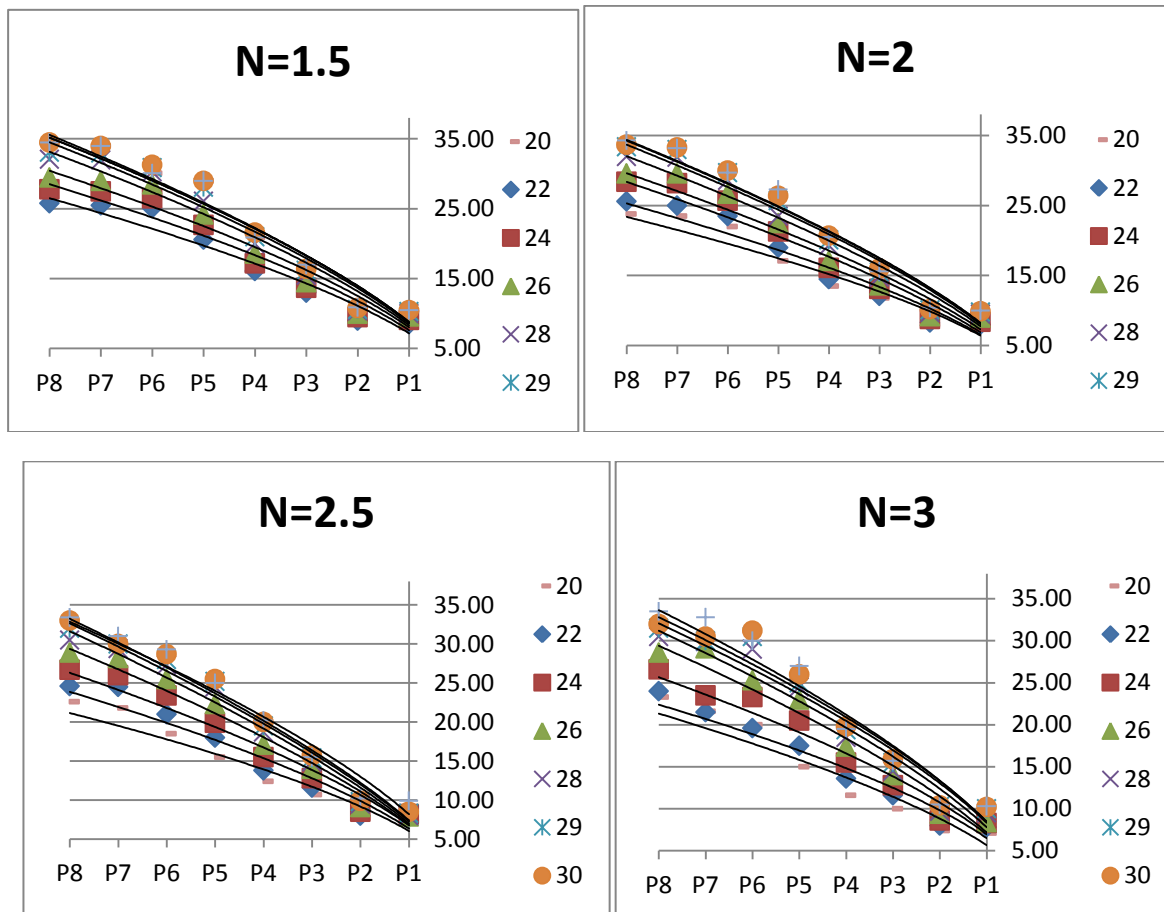
Kh _b /Kh _c =1.1		N=3							
h(cm)	h(e)/H(mir)	P1 (cm)	P2(cm)	P3 (cm)	P4 (cm)	P5 (cm)	P6 (cm)	P7 (cm)	P8(cm)
20	0,61	7,10	7,40	10,00	11,60	15,00	20,00	21,60	23,30
22	0,67	7,80	8,00	11,60	13,60	17,50	19,60	21,50	24,00
24	0,73	8,30	8,60	12,80	15,50	20,50	23,30	23,50	26,60
26	0,79	8,40	9,40	14,00	17,40	23,00	25,30	29,10	28,60
28	0,85	9,50	9,70	14,50	18,50	24,50	29,00	29,90	30,50
29	0,88	10,00	10,30	15,50	19,40	25,00	30,50	30,00	31,50
30	0,91	10,20	10,40	15,90	19,80	26,00	31,20	30,50	32,00
31	0,94	10,30	10,50	15,70	19,50	27,00	30,00	32,80	33,50

Kh _b /Kh _c =1.1		N=2.5							
h(cm)	h(e)/H(mir)	P1 (cm)	P2(cm)	P3 (cm)	P4 (cm)	P5 (cm)	P6 (cm)	P7 (cm)	P8(cm)
20	0,61	7,10	7,40	10,00	11,60	15,00	20,00	21,60	23,30
22	0,67	7,80	8,00	11,60	13,60	17,50	19,60	21,50	24,00
24	0,73	8,30	8,60	12,80	15,50	20,50	23,30	23,50	26,60
26	0,79	8,40	9,40	14,00	17,40	23,00	25,30	29,10	28,60
28	0,85	9,50	9,70	14,50	18,50	24,50	29,00	29,90	30,50
29	0,88	10,00	10,30	15,50	19,40	25,00	30,50	30,00	31,50
30	0,91	10,20	10,40	15,90	19,80	26,00	31,20	30,50	32,00
31	0,94	10,30	10,50	15,70	19,50	27,00	30,00	32,80	33,50

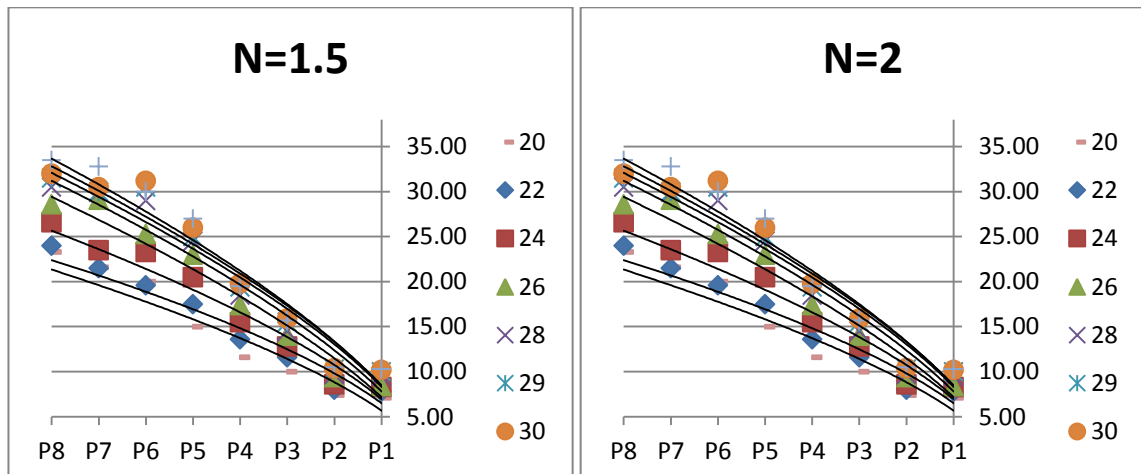
Kh _b /Kh _c =1.1		N=2							
h(cm)	h(e)/H(mir)	P1 (cm)	P2(cm)	P3 (cm)	P4 (cm)	P5 (cm)	P6 (cm)	P7 (cm)	P8(cm)
20	0,61	7,10	7,40	10,00	11,60	15,00	20,00	21,60	23,30
22	0,67	7,80	8,00	11,60	13,60	17,50	19,60	21,50	24,00
24	0,73	8,30	8,60	12,80	15,50	20,50	23,30	23,50	26,60
26	0,79	8,40	9,40	14,00	17,40	23,00	25,30	29,10	28,60
28	0,85	9,50	9,70	14,50	18,50	24,50	29,00	29,90	30,50
29	0,88	10,00	10,30	15,50	19,40	25,00	30,50	30,00	31,50
30	0,91	10,20	10,40	15,90	19,80	26,00	31,20	30,50	32,00
31	0,94	10,30	10,50	15,70	19,50	27,00	30,00	32,80	33,50

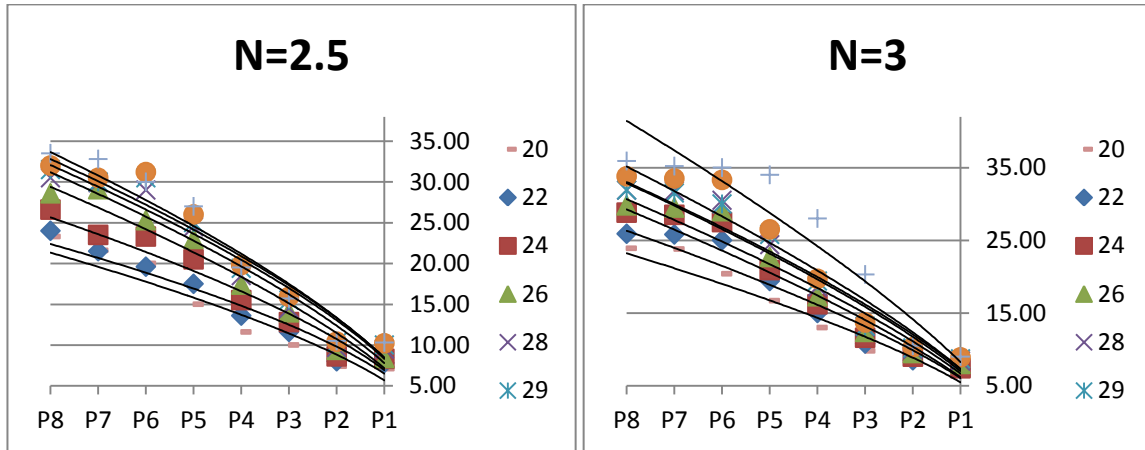
Kh _b /Kh _c =1.1		N=1.5							
h(cm)	h(e)/H(mir)	P1 (cm)	P2(cm)	P3 (cm)	P4 (cm)	P5 (cm)	P6 (cm)	P7 (cm)	P8(cm)
20	0,61	7,60	8,50	10,50	14,40	18,20	23,70	24,20	24,50
22	0,67	8,00	9,00	11,30	15,30	19,80	25,80	26,10	26,40
24	0,73	8,30	9,50	12,30	16,60	21,20	27,70	27,90	28,00
26	0,79	8,70	10,00	13,10	18,00	23,10	30,00	30,20	30,30
28	0,85	9,10	10,30	13,80	19,10	24,60	31,20	31,50	31,90
29	0,88	9,30	10,60	14,10	19,90	26,00	32,80	33,10	33,20
30	0,91	9,40	10,70	14,40	20,20	26,50	33,30	33,60	34,50
31	0,94	9,50	10,80	14,90	21,00	28,40	34,70	35,00	35,20

La charges d'eau devant le drain pour modèle $\frac{K_h b}{K_h c} = 1$ avec crete varie pour chaque pente :



La charges d'eau devant le drain pour modèle $\frac{K_h b}{K_h c} = 1.3$ avec crete varie pour chaque pente :





La charges d'eau devant le drain pour modèle $\frac{K_h b}{K_h c} = 1.1$ avec crete varie pour chaque pente :

