



ETUDES TECHNIQUES D'IMPERMEABILISATION DES BASSINS DE COLLECTE DES EAUX DE RUISSELLEMENT

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER D'INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
OPTION : Génie Civil

Présenté et soutenu publiquement le 28 Octobre 2013 par :

Togoï Issa BRAHIM

Travaux dirigés par : M. Koffi KOKOLE

Enseignant Génie Civil
Centre Commun de Recherche Energie et Habitat Durable

M. Severe FOSSI

Ingénieur de Recherche
Centre Commun de Recherche Eau et Climat

M. K.Sewa DA SILVEIRA

Enseignant Irrigation
Centre Commun de Recherche Eau et Climat

Jury d'évaluation du stage :

Président : **M. Koffi KOKOLE**

Membres et correcteurs : **M. Remy MINANE**
M. Severe FOSSI

Promotion [2012/2013]

REMERCIEMENTS

Ce stage a nécessité tout au long de sa durée l'assistance et le soutien de plusieurs personnes.

Je tiens à remercier en premier lieu l'équipe du Projet Irrigation de Complément et Information Climatique (PICIC), projet au sein duquel j'ai pu effectuer ce stage et vivre une expérience enrichissante.

Je remercie également le Laboratoire Eco Matériaux de Construction (LEMC) pour m'avoir ouvert ses portes ainsi que toute l'équipe pour leur précieuse aide et leur sympathie qui ont favorisé mon intégration dans le laboratoire.

*Je tiens à exprimer ma gratitude à mes maitres de stage : M. **Koffi KOKOLE** du LEMC, M. **Sévère FOSSI** et M. **K.Sewa DA SILVEIRA** du Laboratoire Hydrologie et Ressources en Eau (LEAH), pour leur disponibilité, leur aide et leurs conseils durant mon encadrement.*

DEDICACES

Je dédie ce travail particulièrement à :

- Mon père **Togoï ISSA** et ma mère **Khadîdja DADI** qui ont fait tant des sacrifices pour mon éducation et ma formation ;*
- Mon oncle, General **Kolligué CHIDE** qui m'a soutenu sans faille et a cru toujours en moi ;*
- Tous mes parents et amis ;*
- Tous ces enseignants qui m'ont donné les outils nécessaires pour que je réussisse ;*
- Mes camarades de ma promotion du 2iE qui m'ont permis d'élargir la famille au-delà des frontières.*

RESUME

Le changement et les variabilités du climat en Afrique subsaharienne occasionnent des poches de sécheresse qui ont des effets très préjudiciables sur les cultures. Ainsi pour sécuriser la production agricole et garantir les revenus des producteurs dans les zones sahéliennes du Burkina Faso, le Projet « Irrigation de Complément et Informations Climatiques » a réalisé des Bassins de Collecte des Eaux de Ruissellement en vue d'une irrigation de complément dans des exploitations agricoles pilotes. Afin de gérer efficacement le volume d'eau dans ces bassins, nous avons mené des réflexions allant dans le sens de l'accroissement de leur capacité de rétention.

Des études ont été menées d'une part sur la texture et sur la structure des matériaux, et d'autre part sur la perméabilité du fond et des parois des bassins. Il s'agit de la caractérisation de leurs échantillons au laboratoire et la détermination de la porosité des bassins par l'essai de la densité apparente. Cette dernière est de 1,45 ; 1,46 et 1,50g/cm³ respectivement sur le site Mogodin (1), Mogodin (2) et Yennega (2). Sur les six (6) bassins concernés par l'étude, la conductivité hydraulique à saturation maximale est de 6,6E-06 m/s et la plus faible est de 1,78E-08 m/s.

Quelques options ont été étudiées, notamment le béton armé, les bâches synthétiques et les argiles locales. Concernant l'utilisation d'argile pour réduire l'infiltration, un essai a été réalisé sur des couches en matériaux de différentes épaisseurs, soumises à une charge hydraulique pour simuler leurs vitesses d'infiltration. Cette expérimentation nous a permis de comparer deux types de sol ayant une proportion d'argile 40% et 18% et un indice de plasticité respectif de 22,6% et 14%.

Mots clés : Irrigation de complément, Bassin de collecte, Imperméabilisation, Type de sol, Eaux de ruissellement

ABSTRACT

Change and climate variability in sub-Saharan Africa cause pockets of drought that have very detrimental effects on crops. To secure agricultural production and ensure the income of farmers in the Sahel of Burkina Faso, the project «Irrigation and Climate Additional Information " has made Basins collection Runoff for supplemental irrigation in pilot farms. To effectively manage the volume of water in these basins, we conducted thoughts going in the direction of increasing their holding capacity.

Studies have been conducted on one hand on the texture and the structure of materials, and in the other hand, on the permeability of the bottom and the sides of the basins. This is the characterization of their samples in the laboratory and the determination of the porosity of the basins by testing the bulk density. The latter is 1.45, 1.46 and 1.50 g/cm³ respectively on Mogodin website (1), Mogodin (2) and Yennega (2). Regarding the six (6) areas concerned by the study, the hydraulic conductivity maximum saturation is 6.6 E-06 m / s and the lowest is 1.78 E-08 m / s.

Some options have been explored, including reinforced concrete, synthetic tarpaulins and local clays. Concerning the use of clay to reduce infiltration, a test was performed on layers of materials of different thicknesses, subject to a hydraulic load to simulate their infiltration rates. This experiment allowed us to compare two types of soil with a clay's proportion of 40% and 18 % and a plasticity index respective of 22.6% and 14%.

Keywords: Irrigation's supplement, collection's basin, Waterproofing, Floor type, Runoff

LISTE DES ABREVIATIONS

2iE : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'environnement

BCER : Bassin de Collecte des Eaux de Ruissèlement

CRDI : Centre de Recherches pour le Développement International

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

LEAH : Laboratoire Hydrologie et Ressources en Eau

LEMC : Laboratoire Eco Matériaux de Construction

m/s : mètre par seconde

MAH : Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique

PEHD : Polyéthylène Haute Densité

PICIC : Projet « Irrigation de Complément et Information Climatique »

PVC : Polychlorure de Vinyle

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : L'angle du talus convenable en fonction de la nature du sol (Source FAO, 2011)	8
Tableau 2 : Les dimensions des bassins à fond rectangulaire pour des profondeurs D, des volumes V donnés et pour une pente de 1/1,5.....	10
Tableau 3 : Les dimensions des bassins à fond rectangulaire pour des profondeurs D, des volumes V donnés pour une pente de 1/1	10
Tableau 4 : Les dimensions des bassins de type carré pour des différentes capacités, profondeurs et pentes.	11
Tableau 5 : Domaine de valeur de la conductivité hydraulique et nature des macrospores correspondants (Mc Kaegue et al., 1982).....	13
Tableau 6 : Récapitulatif des prélèvements effectués	15
Tableau 7 : Résultats de l'essai de la densité apparente.....	16
Tableau 8 : Résultats des poids spécifiques des matériaux des bassins	17
Tableau 9 : Classification du degré de plasticité selon l'indice plastique.....	18
Tableau 10 : Classification des matériaux des bassins.....	19
Tableau 11 : Exemple de la procédure d'obtention du coefficient de conductivité hydraulique sur le site1 de Mogodin	21
Tableau 12 : Résultats de l'infiltration donnés par le dispositif Muntz sur trois(3) bassins....	21
Tableau 13 : Résultats d'essai de la perméabilité à l'eau.....	25
Tableau 14 : Interprétation des résultats de l'essai de la perméabilité.....	25
Tableau 15 : Corrélation entre la texture du matériau et sa vitesse d'infiltration (Grela R.et al., 2004).....	27
Tableau 16 : Données des matériaux soumis à l'essai de l'infiltration	32
Tableau 17 : Valeurs du coefficient de foisonnement.....	34
Tableau 18 : Comparaison des résultats.....	35

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Vue en plan et coupe du bassin (K.V Rao et al 2010).....	8
Figure 2 : Coupe horizontale d'un bassin.....	9
Figure 3 : Relation entre textures et conductivité hydraulique (Xanthoulis, FUSAGX).	14
Figure 4 : Schémas du dispositif MUNTZ (Zante, 1988).	20
Figure 5 : Evolution temporelle de la capacité d'infiltration du site 1 de Mogodin	22
Figure 6 : Evolution temporelle de la capacité d'infiltration du site 2 de Mogodin	22
Figure 7 : Evolution temporelle de la capacité d'infiltration du site 1 de Yennega.....	23
Figure 8 : Schéma du système de mesure (Grela R. et al 2004).	27
Figure 9 : Evolution de la vitesse d'infiltration des couches compactées.....	33
Figure 10 : Evolution de la vitesse d'infiltration des couches non compactées.....	34

LISTE DE PHOTOS

Photo 1 : Un BCER (09/04/2013 à Mogodin).....	5
Photo 2 : Fissures superficielles (12/04/2013 à Sandouré)	6
Photo 3 : Fissures traversant toute l'épaisseur de la couche (10/04/2013 à Yennega)	7
Photo 4 : Dégradation de la couche en béton (10/04/2013 à Yennega)	7
Photo 5 :Perméamètre (NF P 94-512-11).....	24

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	i
DEDICACES	ii
RESUME.....	iii
ABSTRACT	iv
LISTE DES ABREVIATIONS	v
LISTE DES TABLEAUX	vi
LISTE DES FIGURES	vii
Liste de photos	viii
I. Introduction	1
1.1. Contexte.....	1
1.2. Problématique.....	2
1.3. Objectifs	2
1.4. Méthodologie.....	3
II. Présentation et diagnostic des BCER	4
2.1. Présentation de la zone d'étude et des bassins construits.....	4
2.2. Diagnostic des bassins.....	5
2.2.1. Fissures	6
2.2.2. Sédimentation	7
III. Synthèse bibliographique	8
3.1. Géométrie des bassins	8
3.1.1. Forme des bassins.....	8
3.1.2. La profondeur et pente du talus	8
3.1.3. Dimensions des bassins	9
3.2. Infiltration du sol	11
3.3. Conductivité hydraulique	12
3.3.1. Structure du sol.....	12
3.3.2. Texture du sol.....	14
IV. Matériels et méthodes.....	15
4.1. Prélèvement des échantillons	15
4.2. Description des essais de la caractérisation physico-mécanique des sols	16
4.2.1. Densité apparente	16
4.2.2. Poids spécifique au pycnomètre à air	16

4.2.3.	Analyse granulométrique.....	17
4.3	. Description des essais d'infiltration	19
4.3.1	Méthode double anneau.....	19
4.3.2.	Méthode du perméamètre (NF P 94-512-11)	23
4.3.3.	Méthode de mesure à niveau variable in situ	26
4.4.	Options d'imperméabilisation	28
4.4.1.	Le béton armé.....	28
4.4.2.	Bâches synthétiques.....	30
4.4.3.	Couche d'argile	31
V.	Interprétation des Résultats	35
VI.	Conclusions et perspectives.....	37
VII.	Références bibliographiques	38
•	Ouvrages et articles:	38
•	Sites internet.....	39
ANNEXES		40
Annexe 1.	Courbes granulométriques	I
Annexe 2.	Resultats de la détermination de la conductivité hydraulique par la méthode Muntz sur le site 2 de Mogodin et site 1 de Yennega.....	II
Annexe 3.	Résultats de l'expérimentation pour l'évaluation des vitesses d'infiltration de deux (2) types de matériaux avec et sans compactage et à des différentes épaisseurs.	Erreur ! Signet non défini.

I. Introduction

La rareté et l'irrégularité des pluies ont un impact négatif sur la production agricole qui devient de plus en plus accru avec les changements climatiques. Ainsi, pour pallier à ce problème, les paysans sahéliens ont adapté des techniques de conservation d'eau et de sol telles que le Zaï, les demi-lunes et les cordons pierreux. En plus de cela, d'autres techniques comme les semences améliorées, ont été recommandées aux producteurs. Cependant, ces méthodes, bien qu'elles aient apporté une certaine amélioration, montrent leurs limites lorsque la période de sécheresse est assez longue. Ainsi une stratégie est initiée et promue par les acteurs de recherche de 2iE et leurs partenaires pour le développement dans le Sahel. Cette stratégie intéresse la mobilisation et la gestion de l'eau et propose l'irrigation de complément à partir de bassins de collecte des eaux de ruissellement(BCER).

1.1. Contexte

Ce thème se situe dans le cadre du Projet « Irrigation de Complément et Information Climatique » qui est mis sur pied par le Centre de Recherches pour le Développement International (CRDI) et l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) en partenariat avec plusieurs autres institutions dont l'ex Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique (MAH) et des associations communautaires.

Ce projet a pour objectif de réduire la vulnérabilité des paysans sahéliens et d'améliorer la sécurité alimentaire dans un contexte de variabilité et de changement climatique. Il vise spécifiquement à proposer une stratégie d'adaptation innovante et intégrée pour faire face aux poches de sécheresse, à la grande variabilité du début de la saison des pluies et au faible niveau d'information et de sensibilisation des agriculteurs et acteurs du secteur agricole sur les nouveaux enjeux des changements climatiques. Cette stratégie comprend l'irrigation de complément à partir de bassins de collecte des eaux de ruissellement, la mise à disposition de l'information climatique de pré-campagne et le renforcement des capacités.

Dans ce contexte, le projet pilote a été lancé dans deux provinces du Burkina Faso par l'irrigation de complément à partir des BCER.

Par ailleurs, le gouvernement à travers l'ex-Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique avait prévu de construire des milliers (9 800) bassins de collecte des eaux de ruissellement. Une grande partie de ces bassins a été exécuté à présent pour promouvoir l'irrigation de

complément et sécuriser la production en campagne hivernale dans 10 des 13 régions administratives du pays à travers le projet « Maïs de case » (MAH, 2012).

1.2. Problématique

L'irrigation de complément, qui est un apport d'eau qui vient en complément des précipitations pour l'amélioration de la production, s'est avérée nécessaire pour sauver les cultures dans le contexte sahélien. Ce principe est basé essentiellement sur des bassins, alimentés par les eaux de ruissellement et assurant la conservation des eaux. Ces eaux sont utilisables en cas de ruptures inopportunes des pluies. Néanmoins, une campagne après, il a été constaté que les bassins construits sont par endroit devenus très peu étanches pour stocker l'eau pendant une période relativement longue à cause de la perméabilité des sols du fond des bassins. C'est pourquoi des réflexions sont menées à travers ce thème dans le sens d'accroître leur capacité de rétention.

1.3. Objectifs

Les bassins sont destinés à contribuer à la bonne alimentation en eau des cultures durant leur période végétative en prenant le relais des pluies lorsque la mauvaise pluviosité occasionne des pénuries d'eau pour les plantes. C'est pourquoi un bassin doit être dimensionné pour une capacité en adéquation avec les besoins en eau des cultures et des pertes éventuelles d'eau pour avoir une production escomptée sur une parcelle donnée. Pour respecter ces conditions, les pertes d'eau par infiltration doivent être les plus minimales possibles. Pour ce faire nous nous fixons comme objectifs spécifiques de :

- ✓ Faire un diagnostic sur le fonctionnement des BCER en relevant les dégradations ;
- ✓ Effectuer des essais sur la texture et la structure des sols des BCER ;
- ✓ Faire les essais de terrain et de laboratoire sur la perméabilité des sols ;
- ✓ Proposer quelques solutions pour l'imperméabilisation des BCER.

1.4. Méthodologie

Pour maîtriser les pertes en eau des bassins, il est nécessaire de connaître les propriétés de leurs matériaux et leurs capacités d'infiltration. Par conséquent, dans la première partie de ce rapport, il est question d'une revue bibliographique sur la géométrie des bassins, l'infiltration des sols et la conductivité hydraulique. Ensuite, une description des essais réalisés sur le terrain et au laboratoire pour la caractérisation physico-mécanique des matériaux et pour l'évaluation de la capacité de rétention des bassins. Puis, l'exploration de quelques options d'imperméabilisation à envisager. Enfin, une interprétation des résultats pour dégager les liens entre la conductivité hydraulique et les propriétés des matériaux des bassins.

II. Présentation et diagnostic des BCER

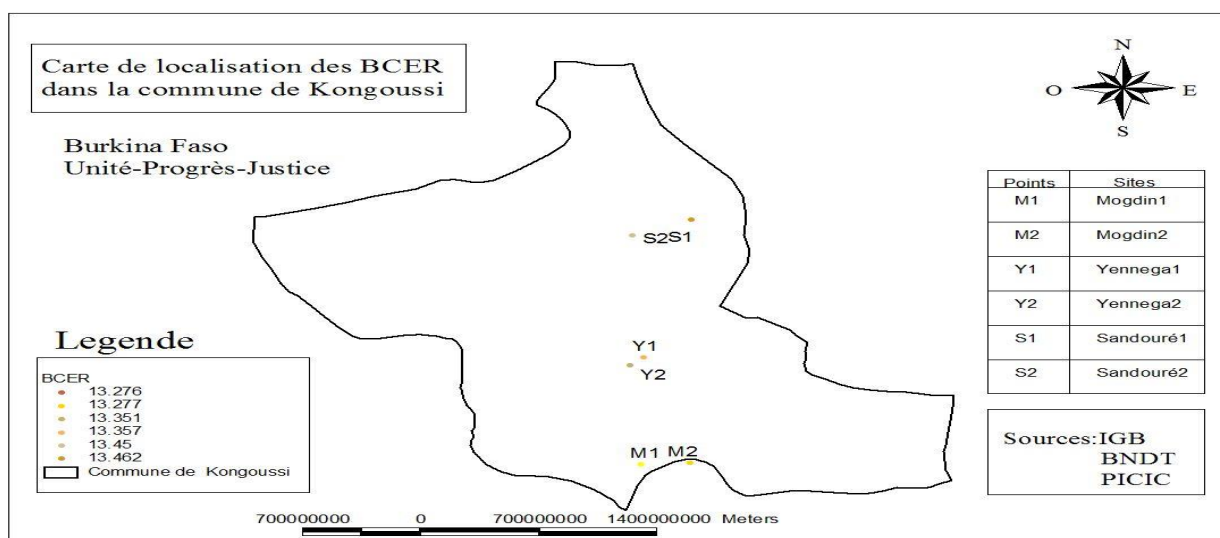
2.1. Présentation de la zone d'étude et des bassins construits

Le Projet Irrigation de Complément et Information Climatique(PICIC) est présent dans les régions Nord du Burkina Faso où la fréquence des poches de sécheresse est récurrente. Il est implanté sur douze (12) sites dont six(6) dans la province du Bam et six(6) dans la province du Yatenga, répartis de la manière suivante :

- Province du Yatenga : trois(3) sites dans la commune de Koumbri (Koumbri(01) et Boulzoma(02)) et trois (03) autres sites dans la commune de Namissiguima (Tougou(01) et Sologom(02)).
- Province du Bam (Commune de Kongoussi): deux(2) sites par village (Mogodin, Yennega et Sandouré).

Les travaux de cette étude se sont déroulés exclusivement sur les sites de la province du Bam de la région du Centre Nord, dans les villages précités de la commune de Kongoussi(Carte). A l'image de toute la province du Bam, la commune de Kongoussi est soumise à un régime de climat soudano sahélien. Les températures moyennes varient entre un minimum de 17,7° pendant les mois de décembre et de janvier et un maximum de 40° les mois de mars et d'avril.

Conformément au rythme des saisons du pays, une grande partie des habitants pratiquent l'agriculture pendant la saison pluvieuse (de Juin à Octobre). La saison sèche est consacrée aux cultures irriguées (Plan Burkina, 2013).



Carte: Localisation des BCER dans la Commune de Kongoussi

Les bassins construits dans le cadre de ce projet sont de forme prismatoïdique. Ils ont une section de 13x12 m au pied du talus, une profondeur de 1,6 m et une pente de talus de 1/1 soit une capacité chacun de 357 m³ (Photo1).



Photo 1 : Un BCER (09/04/2013 à Mogodin)

Ces bassins possèdent pour leur bon fonctionnement, des aménagements qui assurent des fonctions diverses :

- Pour la sécurité des personnes et des animaux, les bassins sont clôturés par des grillages d'environ 1,2 m de hauteur;
- Une entrée d'eau est aménagée au niveau de chaque bassin avec des moellons ayant pour rôle de réduire la vitesse de l'eau venant dans le bassin et d'éviter d'important dépôt de sédiments au fond ;
- Des escaliers d'accès au fond des bassins sont prévus pour faciliter l'entretien ;
- Les abords supérieurs des bassins sont surélevés par rapport au terrain naturel pour que l'eau ne pénètre dans le bassin qu'à partir de l'entrée d'eau.

2.2. Diagnostic des bassins

Il s'agit dans cette partie de faire un examen de l'état des bassins une année après leur construction, soit après avoir servi pendant une campagne et proposer des solutions pour les réparations des imperfections constatées.

Les dégâts observés sur les bassins ne sont pas très variés. Ce sont généralement les fissures sur la couche du béton et le dépôt des sédiments au fond des bassins.

2.2.1. Fissures

Afin d'assurer la stabilité et l'étanchéité des berges, celles-ci sont recouvertes d'une couche en béton dosé à 250kg/m^3 d'épaisseur variant en fonction des bassins de 3 à 5 cm. Cette couche présente des fissures évolutives avec des largeurs variées, provoquant des dégâts très préjudiciables au niveau de certains bassins. En effet, ces ouvertures d'abord superficielles (Photo 2) traversent toute l'épaisseur de la couche (Photo 3) et aboutissent à la dégradation de celle-ci (Photo 4).

Les fissures témoignent de l'existence de contrainte sur la zone fissurée. Les origines de ces fissures peuvent être soit la poussée des terres latérales qui engendre des contraintes de traction auxquelles le béton seul ou son faible épaisseur résiste très peu, soit la présence des arbres dans le voisinage immédiat dont les racines pourraient provoquer des fissures (un exemple visible chez le paysan SAWADOGO Dominique dans le village de Yennega).

Nous proposons pour les réparations de ces fissures, des colmatages avec un enduit de rebouchage à base de mortier de ciment. Mais il faudrait d'abord déterminer l'origine d'une fissure pour pouvoir la traiter correctement. Dans le cas contraire, elle risquerait de progresser et de laisser l'eau s'infiltrer.

Au cours du coulage du béton, il a été prévu des joints de dilatation au niveau de certains bassins pour éviter l'évolution des fissures sur toute la surface.



Photo 2 : Fissures superficielles (12/04/2013 à Sandouré)



Photo 3 : Fissures traversant toute l'épaisseur de la couche (10/04/2013 à Yennega)



Photo 4 : Dégradation de la couche en béton (10/04/2013 à Yennega)

2.2.2. Sédimentation

Elle correspond au dépôt de sédiments au fond des bassins et a pour conséquence la diminution de sa capacité utile.

Les sédiments sont transportés par le ruissellement et par le vent jusqu'aux pierres disposées aux abords des bassins et ils débordent ces pierres pour accéder au fond des bassins.

Dans certains cas, l'entrée d'eau qui est destinée à jouer le rôle d'un filtre en retenant les sédiments, n'arrive pas à remplir pleinement cette fonction à cause de la rugosité insuffisante de sa surface.

Ce phénomène nécessite un curage des sédiments du fond des bassins et au niveau du passage d'eau à la fin ou au début de chaque campagne agricole.

III. Synthèse bibliographique

3.1. Géométrie des bassins

3.1.1. Forme des bassins

Les bassins sont de forme prismatoïdique dont les bases sont rectangulaires et les faces latérales, des trapèzes (Figure 1).

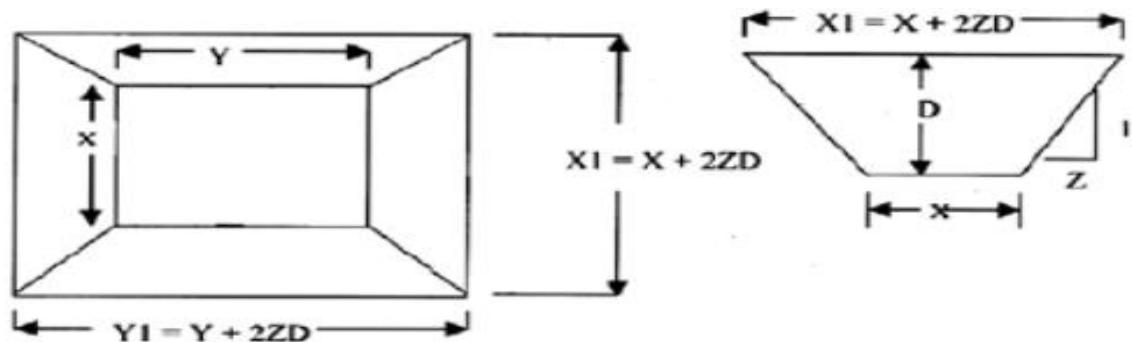


Figure 1 : Vue en plan et coupe du bassin (K.V Rao et al., 2010)

3.1.2. La profondeur et pente du talus

La profondeur du bassin dépend le plus souvent de la nature du sol excavé et des matériels utilisés. Elle est la dimension la plus importante car plus elle est grande plus on évite l'évaporation et plus la surface occupée est petite. Par contre, l'augmentation de la profondeur implique l'augmentation de l'infiltration (Reddy K.S et al., 2012).

La pente du talus est l'angle nécessaire pour qu'il soit stable au cours du temps face à la poussée des terres et aux charges environnantes. Elle est fonction de la nature du matériau du talus (Tableau 1). Dans la pratique, on adopte généralement une pente 1/1 ou 1/1,5.

Tableau 1 : L'angle du talus convenable en fonction de la nature du sol (Source FAO, 2011)

Type du sol	Pente (horizontal : vertical)
Argile	1/1 à 2/1
Argile limoneux	1,5/1 à 2/1
Sable limoneux	2/1 à 2,5/1
sable	3/1

3.1.3. Dimensions des bassins

Les dimensions des bassins sont déterminées à partir de l'expression de l'estimation de sa capacité. Celle-ci est calculée par une des méthodes des sections en travers en l'occurrence la formule du primatoïde (K.S Reddy et al., 2012). Cette formule s'applique aux formes géométriques qu'on peut considérer comme primatoïdales et fournit une grande précision (Roger Duquette, Ernest P. Lauzon, 1996). La figure 2 montre une coupe horizontale d'un bassin.

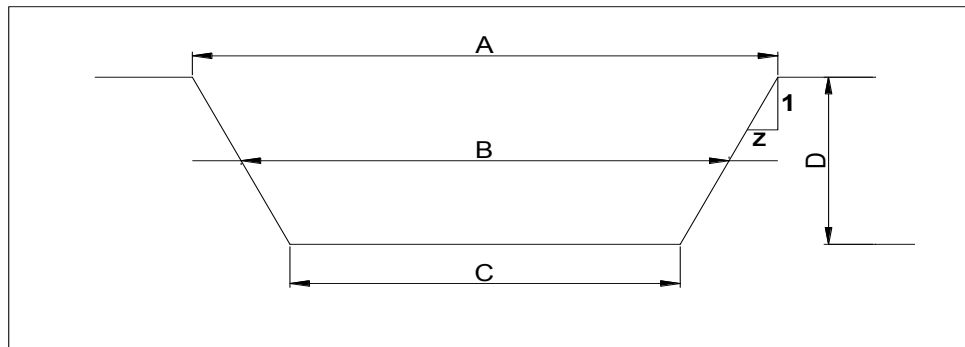


Figure 2 : Coupe horizontale d'un bassin

$$V = \frac{A+4B+C}{6} \times D \quad (1)$$

Où

V : le volume du bassin (m³)

A et C : surfaces des deux bases (m²)

B : la section médiane (m²)

D : la profondeur du bassin (m)

En remplaçant les surfaces (A, B et C) par leurs valeurs dans (1) et en posant $c=y/x$ on obtient un polynôme du second degré :

$$cx^2 + DZ(1+c)x - \frac{V}{D} + \frac{4}{3}DZ^2 = 0 \quad (2)$$

L'équation (2) admet une racine positive donnant une des dimensions (x) du pied du talus :

$$x = 1/2c \left[\sqrt{Z^2D^2(1+c) - 4c \left[\left(\frac{4}{3} \right) Z^2D^2 - V/D \right]} - ZD(1+c) \right] \quad (3)$$

Lorsque la surface au pied du talus est carré ($x=y$) alors $c=1$, l'équation (3) devient alors

$$x = \left[\sqrt{Z^2 D^2 - \left(\frac{4}{3} Z^2 D^2 - \frac{V}{D} \right)} - ZD \right] \quad (4)$$

Les équations (3) et (4) vont donner les dimensions du bassin à construire connaissant sa capacité, sa pente de talus et sa profondeur. Les tableaux 2,3 et 4 illustrent quelques exemples.

Tableau 2 : Les dimensions des bassins à fond rectangulaire pour des profondeurs D, des volumes V donnés et pour une pente de 1/1,5

Volume (m ³)	Profondeur 1 m				Profondeur 1,5 m				profondeur 2 m			
Dimensions	x	y	x1	y1	x	y	x1	y1	x	y	x1	y1
50	4,9	7,4	6,9	9,4	3,4	5,2	6,4	8,2	2,4	3,6	6,4	7,6
150	9,2	13,7	11,2	15,7	6,9	10,4	9,9	13,4	5,4	8,1	9,4	12,1
200	10,7	16,1	12,7	18,1	8,2	12,3	11,2	15,3	6,5	9,7	10,5	13,7
250	12,1	18,1	14,1	20,1	9,3	13,9	12,3	16,9	7,5	11,2	11,5	15,2
300	13,3	20,0	15,3	22,0	10,3	15,4	13,3	18,4	8,3	12,5	12,3	16,5
350	14,4	21,7	16,4	23,7	11,2	16,8	14,2	19,8	9,1	13,7	13,1	17,7

x : largeur du bas ; y : longueur du bas ; x1 : largeur du haut ; y1 : longueur du haut et y/c=1.5

*toutes les dimensions en mètre (m).

Tableau 3 : Les dimensions des bassins à fond rectangulaire pour des profondeurs D, des volumes V donnés pour une pente de 1/1

Volume (m ³)	profondeur 1m				profondeur 1,5m				profondeur 2m			
Dimensions	x	y	x1	y1	x	y	x1	y1	x	y	x1	y1
50	4,5	6,7	7,5	9,7	2,8	4,2	7,3	8,7	1,5	2,3	7,5	8,3
150	8,7	13,1	11,7	16,1	6,3	9,4	10,8	13,9	4,5	6,8	10,5	12,8
200	10,3	15,4	13,3	18,4	7,5	11,3	12,0	15,8	5,6	8,5	11,6	14,5
250	11,6	17,5	14,6	20,5	8,6	13,0	13,1	17,5	6,6	9,9	12,6	15,9
300	12,9	19,3	15,9	22,3	9,7	14,5	14,2	19,0	7,5	11,2	13,5	17,2
350	14,0	21,0	17,0	24,0	10,6	15,9	15,1	20,4	8,3	12,4	14,3	18,4

Tableau 4 : Les dimensions des bassins de type carré pour des différentes capacités, profondeurs et pentes.

Volume (m ³)	Pente du talus 1/1						Pente du talus 1/1.5					
Profondeur	1m		1,5m		2m		1m		1,5m		2m	
Dimensions	x	x1	x	x1	x	x1	x	x1	x	x1	x	x1
50	6,0	8,0	4,2	7,2	3,0	7,0	5,5	8,5	3,5	8,0	1,9	7,9
150	11,2	13,2	8,5	11,5	6,6	10,6	10,7	13,7	7,7	12,2	5,6	11,6
200	13,1	15,1	10,0	13,0	8,0	12,0	12,6	15,6	9,3	13,8	7,0	13,0
250	14,8	16,8	11,4	14,4	9,2	13,2	14,3	17,3	10,6	15,1	8,1	14,1
300	16,3	18,3	12,6	15,6	10,2	14,2	15,8	18,8	11,9	16,4	9,2	15,2
350	17,7	19,7	13,8	16,8	11,2	15,2	17,2	20,2	13,0	17,5	10,2	16,2

3.2. Infiltration du sol

L'eau apportée sur le sol peut s'accumuler à la surface, ruisseler ou s'infiltrer. Elle peut ensuite soit s'écouler vers les eaux souterraines ou les eaux de surface, soit passer dans l'atmosphère par évaporation et évapotranspiration. Le résultat global de l'ensemble de ces phénomènes est le bilan hydrique du sol.

Nous allons nous intéresser dans la suite qu'au phénomène de l'infiltration qui est la pénétration de l'eau apportée par les précipitations dans un sol.

La connaissance de ce phénomène est nécessaire dans la mesure où elle permet de déterminer la proportion d'eau infiltrée et les phénomènes qui influent sur l'infiltration dans un sol donné.

Les éléments qui ont une action déterminante sur la densité de flux infiltré ou le volume d'eau infiltré par unité d'aire de surface de sol et par unité de temps (m³/m²/s) sont selon RAOUL Calvet (2003b) :

- La diminution du gradient de potentiel hydrique au fur à mesure que la teneur en eau du sol augmente ;
- La dégradation de la structure qui fait disparaître des pores de grandes dimensions ;
- Le colmatage des pores par des particules solides en suspension ;
- Le piégeage de l'air qui se comprime dans les pores et empêche la pénétration de l'eau.

L'évaluation de l'infiltration consiste donc à déterminer la vitesse à laquelle l'eau quitte la surface du sol pour rejoindre la nappe, qui est caractérisée par la conductivité hydraulique du sol.

3.3. Conductivité hydraulique

La conductivité hydraulique est un coefficient dépendant des propriétés du milieu poreux et de celles du fluide concerné, qui exprime l'aisance qu'a ce fluide à se déplacer à travers la tortuosité des vides (BEAR, J VERRUIJT, A. 1987).

C'est une grandeur qui caractérise l'aptitude du sol et plus généralement celle d'un milieu poreux saturé ou pas d'eau à permettre le déplacement d'une phase liquide continue dans les pores non fermés. Dans un sol saturé, le déplacement d'une phase liquide continue dans les pores interconnectés. En revanche dans un sol non saturé, l'eau ne s'écoule que dans les pores pleins d'eau et interconnectés (RAOUL Calvet, 2003b).

Dans les deux définitions, il ressort que la conductivité hydraulique dépend des propriétés du fluide et des caractéristiques intrinsèques du sol qui sont sa structure et sa texture.

3.3.1 Structure du sol

La circulation de l'eau dans le sol dépend en grande partie de la structure du sol qui est le mode d'organisation de différentes particules de sable de limon et d'argile entre elles. Les particules isolées, une fois assemblées apparaissent comme des particules plus grosses (FAO, 2013). Donc les sols peuvent être définis de manière générale comme le produit remanié et organisé de l'altération de la couche géologique superficielle.

Le sol apparaît comme un complexe dynamique à trois phases :

- Phase solide : qui se présente comme l'accumulation d'un ensemble de grains minéraux ou organiques de taille diverse qui laissent entre eux des vides qui contiennent les deux autres phases ;
- Phases gazeuse : sa composition est souvent voisine de celle de l'air mais elle peut être très variable dans l'espace et dans le temps donc elle dépend de deux facteurs principaux : sa profondeur dans le sol et l'activité biologique ;
- Phase liquide : composée principalement d'eau incluant l'ensemble des substances qui y sont dissoutes ou qui sont en suspension.

Cette description du sol comporte des grandeurs qui représentent d'une part des spécificités propres à chacune des trois phases et d'autre part leur distribution dans le sol. Ces grandeurs sont des caractéristiques globales intrinsèques et relatives. Concernant les caractéristiques intrinsèques, les

Etudes techniques d'imperméabilisation des bassins de collecte des eaux de ruissellement

phases constituant le sol s'expriment par leurs masses volumiques respectives. Les caractéristiques relatives concernent la distribution des trois phases qui s'exprime par le volume total relatif qu'elles occupent (RAOUL Calvet, 2003a).

L'influence de la structure du sol sur la conductivité hydraulique est déterminée par le rayon, la tortuosité et la connectivité des pores. Dans un milieu saturé, la conductivité dépend des rayons des pores et de la porosité totale (RAOUL Calvet, 2003b).

Tableau 5 : Domaine de valeur de la conductivité hydraulique et nature des macropores correspondants (Mc Kaegue et al., 1982).

Conductivité hydraulique d'un horizon de sol		Porosité
m.jour ⁻¹	m.s ⁻¹	
< 4	< 4.6 10 ⁻⁷	Absence de bipores et fissures
4-10	4.6 10 ⁻⁷ -1.2 10 ⁻⁶	Quelques bipores et fissures
10-40	1.2 10 ⁻⁶ - 4.6 10 ⁻⁶	moins de 0.02% de la porosité sont constitués par des macropores traversant l'horizon
40-100	4.6 10 ⁻⁶ -1.2 10 ⁻⁵	0.02 à 0.1 % de la porosité sont constitués par des macropores traversant l'horizon pour certains
100-400	1.2 10 ⁻⁵ -4.6 10 ⁻⁵	0.1 à 0.2 % de la porosité sont constitués par des macropores avec des fissures d'au moins 2mm de diamètre dont la moitié traverse l'horizon pour certains
400-1200	4.6 10 ⁻⁵ - 1.4 10 ⁻⁴	0.2 à 0.5 % de la porosité sont constitués par des macropores avec des fissures d'au moins 2mm de diamètre dont la moitié traverse l'horizon
>1200	>1.4 10 ⁻⁴	Plus de 0.5% de la porosité sont constitués par des macropores avec des fissures d'au moins 2mm de diamètre dont la moitié traverse l'horizon

3.3.2 Texture du sol

La texture du sol fait référence à la taille et à la proportion des particules minérales qui le composent. Plus spécifiquement, elle se réfère à la proportion de sable, de limon et d'argile contenue dans le sol. De la texture dépendent la facilité avec laquelle le sol pourra être travaillé, la quantité d'eau et d'air qu'il retient, et surtout la vitesse à laquelle l'eau peut entrer et circuler dans le sol (FAO, 2013).

La texture d'un sol est donnée par le diagramme des textures ou le triangle des textures (Figure 3) qui donne des corrélations entre les textures et la conductivité hydrauliques des sols.

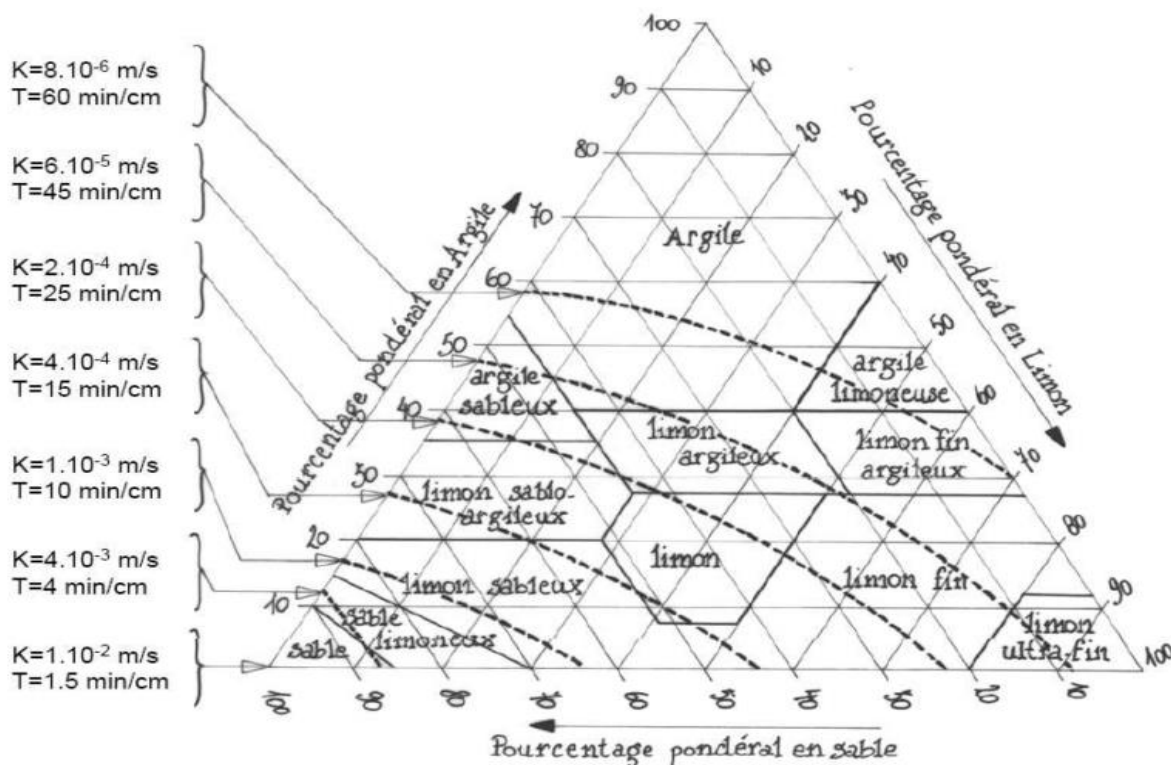


Figure 3 : Relation entre textures et conductivité hydraulique (Xanthoulis, FUSAGX).

Pour avoir des repères pour situer les valeurs de la conductivité hydraulique à saturation K_s d'un sol, Calvet (2003) a donné des limites qui sont les plus utilisées :

- Très faible perméabilité $K_s < 10^{-7}$ m/s
- Faible perméabilité 10^{-7} m/s $< K_s < 10^{-6}$ m/s
- Perméabilité moyenne 10^{-6} m/s $< K_s < 10^{-5}$ m/s
- Forte perméabilité 10^{-5} m/s $< K_s < 10^{-4}$ m/s
- Très forte perméabilité 10^{-4} m/s $< K_s$

IV . Matériels et méthodes

4.1. Prélèvement des échantillons

Le prélèvement des échantillons est une phase préliminaire d'étude des sols permettant d'obtenir des échantillons avec une composition représentative. Pendant cette étape, une précaution particulière est prise pour la représentativité des échantillons qui est une des grandes difficultés de la géotechnique et de la pédologie.

Ainsi, nous avons effectué deux prélèvements :

- Le premier pour la détermination de la densité apparente qui a été réalisé aux fonds des bassins;
- Le deuxième concerne la réalisation des divers essais au laboratoire. Ainsi, il a été prélevé au niveau du fond de chaque bassin 50 kg de matériau.

Le Tableau 6 donne le récapitulatif des prélèvements réalisés. Les numéros attribués aux échantillons serviront de références dans la suite du rapport.

Tableau 6 : Récapitulatif des prélèvements effectués

N° Echantillon	Localité	Site	Profondeur (m)	Propriétaire
1	Mogodin	1	1,6	MAIGA Boukary
2		2	1,6	SANKARA Tasséré
3	Yennega	1	1,6	SAWADOGO André
4		2	1,6	SAWADOGO Dominique
5	Sandouré	1	1,6	KANE Daouda
6		2	1,6	KANE Mahamoudou

4.2. Description des essais de la caractérisation physico-mécanique des sols

4.2.1 Densité apparente

La densité apparente mesure le degré de compactage ou la porosité du sol. Elle correspond donc au poids par unité de volume du sol sec en place. Elle varie de 1,0 à 1,6 g/cm³ pour les sols minéraux et de 0,16 à 0,45 g/cm³ pour des sols organiques (Site web l'ABC du conseiller Agricole).

Cette méthode requiert le prélèvement des échantillons de sol non perturbés dans des cylindres creux de volume connu (5 cm de diamètre et 5 cm de hauteur dans le cas présent).

Nous avons procédé par le prélèvement de trois (3) échantillons au fond de chaque bassin, les valeurs de la densité apparente données dans le tableau 7 représentent donc la moyenne des ces trois (3) prélèvements au niveau de chaque bassin.

Tableau 7 : Résultats de l'essai de la densité apparente

N° Echantillon	1	2	3
Densité apparente moyenne (g/cm ³)	1,45	1,46	1,50

4.2.2. Poids spécifique au pycnomètre à air

Le poids spécifique (γ_s) d'un sol exprime le poids volumique des grains solides. Il est donc le rapport du poids sec du matériau par son volume sec.

La difficulté pour la détermination du poids spécifique d'un matériau réside dans la détermination du volume sec du matériau pour son poids sec connu.

Pour ce faire, après avoir introduit le matériau sec et une quantité d'eau dans la cuve de l'appareil. Après avoir fermé les soupapes, avec la pompe manuelle, il est appliqué une pression de 23 mWs. Après quoi on détermine le volume (Vlu) du matériau dans la cuve en fonction de la pression moyenne (P') de trois lectures par la relation suivante :

$$Vlu = \left(\frac{P' - 4.4174}{P' - 1} \right) * 1214.7465$$

- P' : pression moyenne lue, exprimé mWs,
- Vlu : volume de matériau dans la cuve en cm³,
- 1214.7465 cm³, volume total de 2 cuves,
- 4.4174 : pression en mWs, obtenue en partant de 23 mWs dans le cas d'une cuve sans matériau

Le poids spécifique est obtenu par relation : $\gamma_s = \frac{W_s}{V_{lu} - V_{eau}}$ où w_s et v_{eau} représentent respectivement le poids sec du matériau et le volume d'eau ajouté à ce matériau.

Tableau 8 : Résultats des poids spécifiques des matériaux des bassins

N° Echantillon	Poids sec matériaux mis dans la cuve (g)	Volume d'eau distillée (cm3)	Valeur de la pression lue			Pression moyenne (P')	Valeur Vlu (cm3)	γ_s (KN/m3)
			1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	3 ^{ème} essai			
1	698,5	320,0	8,50	8,85	8,45	8,60	668	20,05
2	625,5	320,0	8,00	8,30	8,00	8,10	630	20,17
3	630,5	320,0	7,30	7,10	7,70	7,37	563	25,98
5	628,7	320,0	7,50	8,00	7,90	7,80	604	22,12
6	620,5	354,6	7,50	7,40	7,50	7,47	573	28,44

4.2.3. Analyse granulométrique

4.2.3.1. Par tamisage (NFP 18-560, NFP 18-540)

L'analyse granulométrique par tamisage consiste à déterminer les proportions pondérales des grains de différentes dimensions qui constituent un matériau grenu. En effet, elle concerne les particules de diamètre supérieur à 80 microns.

L'opération se fait par le tamisage de l'échantillon sur une colonne de tamis pour recueillir les masses sèches des particules retenues à chaque tamis. Ainsi, des pourcentages des tamisât cumulés et des diamètres des tamis, peut être générée la courbe granulométrique à partir de laquelle certains indicateurs caractériseront les échantillons.

4.2.3.2. Par sédimentométrie (NF P 94-093,94-057)

L'analyse granulométrique par sédimentométrie est basée sur la loi de STOCK : la vitesse de chute d'une particule sphérique, tombant librement dans un fluide est proportionnel au carré de son rayon et à sa densité. Les grains, de diamètres différents, sédimentent dans un milieu liquide en repos à des vitesses différentes.

La sédimentométrie complète la courbe granulométrique obtenue par tamisage en mettant en évidence la granulométrie des particules dont le diamètre est compris entre 80 et 0.2 microns.

4.2.4. Limites d'Atterberg (NF P 94-051)

Un sol peut être à l'état liquide, plastique ou solide. Les limites d'Atterberg sont la limite de liquidité (W_L) et celle de plasticité (W_P) qui sont les valeurs de la teneur en eau qui séparent ces différents états. Ces limites sont utilisées dans la classification des sols et permettent d'estimer leurs propriétés mécaniques. Leur connaissance permet (par corrélations) de présumer le comportement d'un sol donné (selon la nature et la quantité d'argile qu'il contient) lorsqu'il est soumis à des sollicitations (REZOBA Anthonio, 2011).

- Pour déterminer la limite de liquidité, une rainure est d'abord effectuée au milieu de l'échantillon contenu dans la coupelle de Casagrande. Le sol aura atteint sa limite de liquidité lorsque la coupelle tombant sur une hauteur de 10mm aura refermé la rainure sur une distance de 13mm à 25 coups.

L'essai est répété 3 à 5 fois pour pouvoir générer une droite en fonction des valeurs de la teneur en eau et du nombre de coups correspondants. A partir de cette droite, on détermine facilement la teneur en eau à 25 coups.

- La limite de plasticité est atteinte lorsqu'un rouleau du sol d'environ 3mm se fissure lorsqu'on le soulève de 15 à 20mm. Quatre(4) essais identiques sont effectués sur un même matériau pour considérer leur moyenne comme la limite plastique du matériau en question.

L'indice de plasticité (I_p) s'exprime en pourcentage du poids sec de l'échantillon de sol. Il indique l'étendue de la gamme des teneurs en eau entre lesquelles le sol reste plastique. Obtenue par la différence de la limite de liquidité et de la limite de plasticité, l'indice de plasticité sert à classer un sol (Tableau 9) suivant son degré de plasticité.

Tableau 9 : Classification du degré de plasticité selon l'indice plastique

Indice de plasticité	Degré de plasticité du sol
0 à 5	Sol non plastique
4 à 15	Sol peu plastique
14 à 40	Sol plastique
>40	Sol très plastique

Ordres de grandeurs

- Argile $I_p > 30$
- Argile limoneuse $20 < I_p < 30$
- Limon $10 < I_p < 20$
- Sable argileux $5 < I_p < 20$
- Sable limoneux $5 < I_p < 15$

Selon REZOB A Anthonio (2011), plus l'indice de plasticité est élevé, plus le sol est sensible aux effets de gonflement par humidification(ou de retrait par dessiccation).Le tableau 10 met en évidence l'identification des échantillons à l'aide du diagramme des textures (cf. figure 3).

Tableau 10 : Classification des matériaux des bassins

N° Echantillon	Gravier et Sable [$\phi < 80\mu$]	Limon [$80\mu < \phi < 2\mu$]	Argile [$\phi > 2\mu$]	Désignation
1	6%	78%	16%	Limon fin
2	7.4%	79.6%	13%	Limon fin
3	55%	35%	10%	Limon sablo- argileux
4	46%	31%	23%	Argile Sableux
5	22%	68%	20%	Limon fin argileux
6	39%	31%	40%	Argile

4.3. Description des essais d'infiltration

4.3.1 Méthode double anneau

4.3.1.1. Introduction

Le dispositif double-anneau (figure 4) est l'une des méthodes permettant de caractériser l'infiltrabilité d'un sol dans le cas d'un écoulement monodimensionnel vertical (Boivin, 1988).

Le principe de l'essai est de mesurer l'infiltration d'une lame d'eau sous charge constante, s'infiltrant verticalement dans le sol.

Le dispositif est composé de deux anneaux (extérieur et central) et de deux bidons d'alimentation. L'anneau central permet la mesure de l'infiltration et l'anneau extérieur ou de garde a pour fonction de maintenir l'écoulement vertical et limiter les risques de fuites sous l'anneau central. Dans ce cas, le cylindre intérieur a un diamètre de 25 cm et le cylindre externe 33 cm.

Les deux anneaux sont disposés de façon concentrique sur le sol, puis enfoncés de quelques centimètres. Leur enfoncement est réalisé de façon lente et régulière, pour éviter de perturber le sol au voisinage des anneaux. L'alignement des anneaux est contrôlé au niveau à bulle.

Les bidons d'alimentation disposent d'une jauge graduée pour évaluer rapidement le volume d'appoint après chaque lecture.

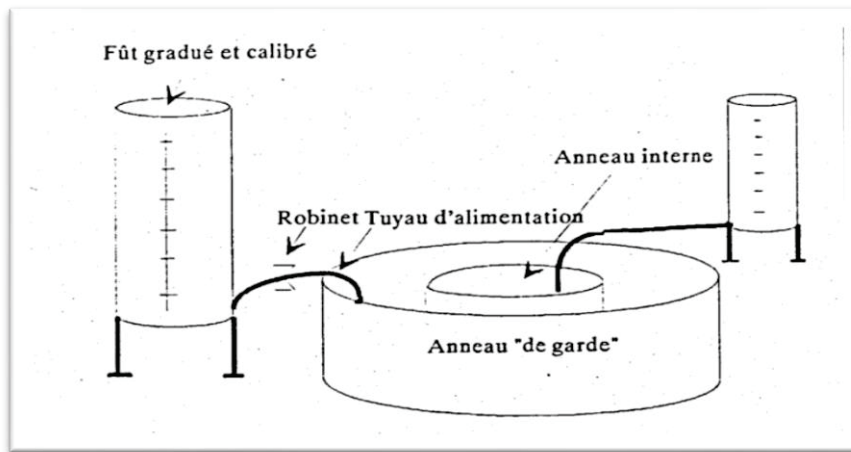


Figure 4 : Schémas du dispositif MUNTZ (Zante, 1988).

4.3.1.2. Mode opératoire

L'essai s'est déroulé selon le protocole suivant :

- 0 Enfoncer les deux (2) anneaux dans le sol à environ 5 cm ;
- 0 Vérifier l'horizontalité des bords supérieurs des cylindres à l'aide d'un niveau à bulle ;
- 0 Verser de l'eau dans les deux(2) cylindres à un niveau, en l'occurrence 3 cm;
- 0 Noter le volume d'eau ajouté pour atteindre le niveau initial (3cm) à des pas de temps suivants : 0,30s ; 1mn ; 1mn30s ; 5 mn ; 10mn ; 15 mn ; 20mn ; 30mn ; 60mn ; 90mn ; 120mn ; 150mn ; 180mn ; 210mn et 240 mn ;
- 0 Mettre en charge instantanément à la fin de chaque pas de temps tout en disposant un film plastique sur le sol, dans l'anneau central pour protéger la surface lors d'ajout d'eau.
- 0 Etablir une courbe en fonction de ces pas de temps et volume ajouté correspondant ;

L'essai prendra fin lorsque le volume d'appoint reste constant pendant trois pas de temps successifs.

4.3.1.3. Résultats

La vitesse d'infiltration(V_i) est déterminée à partir de h et dt représentant respectivement la hauteur d'eau et l'intervalle de temps entre deux lectures consécutives. La hauteur d'eau est calculée en fonction de la section de l'anneau interne et du volume d'eau ajouté (V) après chaque lecture.

Tableau 11 : Exemple de la procédure d'obtention du coefficient de conductivité hydraulique sur le site1 de Mogodin

t (mn)	V (ml)	h (cm)	dt (mn)	Vi (cm/h)	Tmoy (mn)
0	0	0	-	-	-
0,5	100	0,2	0,5	24,4	0,3
1	300	0,6	0,5	73,3	0,8
1,5	180	0,4	0,5	44,0	1,3
5	660	1,3	3,5	23,0	3,3
10	200	0,4	5	4,9	7,5
20	120	0,2	10	1,5	15,0
30	150	0,3	10	1,8	25,0
60	220	0,4	30	0,9	45,0
90	200	0,4	30	0,8	75,0
120	100	0,2	30	0,4	105,0
150	90	0,2	30	0,4	135,0
180	90	0,2	30	0,4	165,0
210	90	0,2	30	0,4	195,0

Ainsi de suite nous avons pu réaliser l'essai au fond de trois (3) bassins, les résultats sont donnés dans le Tableau 12.

Tableau 12 : Résultats de l'infiltration donnés par le dispositif Muntz sur trois(3) bassins.

Localité	Mogodin		Yennega
Site	1	2	1
Vitesse d'infiltration (cm/h)	0,4	2,4	1,3
Coefficient de conductivité hydraulique à saturation (m/s)	1,02E-06	6,6E-06	3,5E-06

4.3.1.4. Interprétation des résultats

Le processus d'infiltration débute généralement par une décroissance rapide puis diminue plus lentement pour aboutir à un régime stable, caractérisé par une valeur de la capacité d'infiltration proche de la conductivité hydraulique à saturation (Figures 5 ,6 et 7).

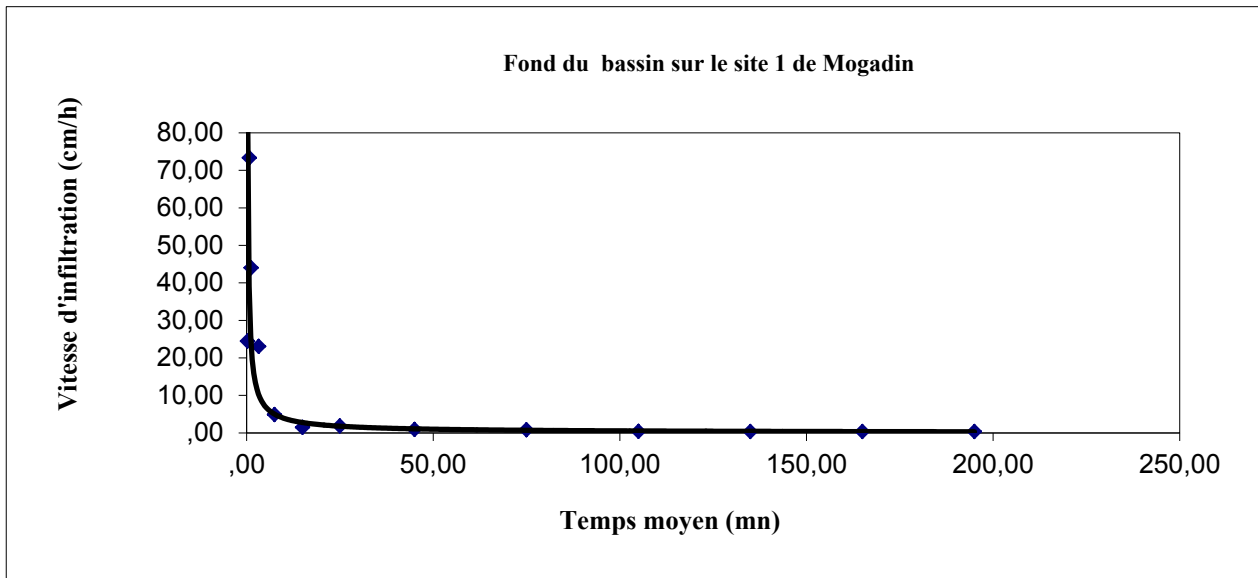


Figure 5 : Evolution temporelle de la capacité d'infiltration sur le site 1 de Mogadin

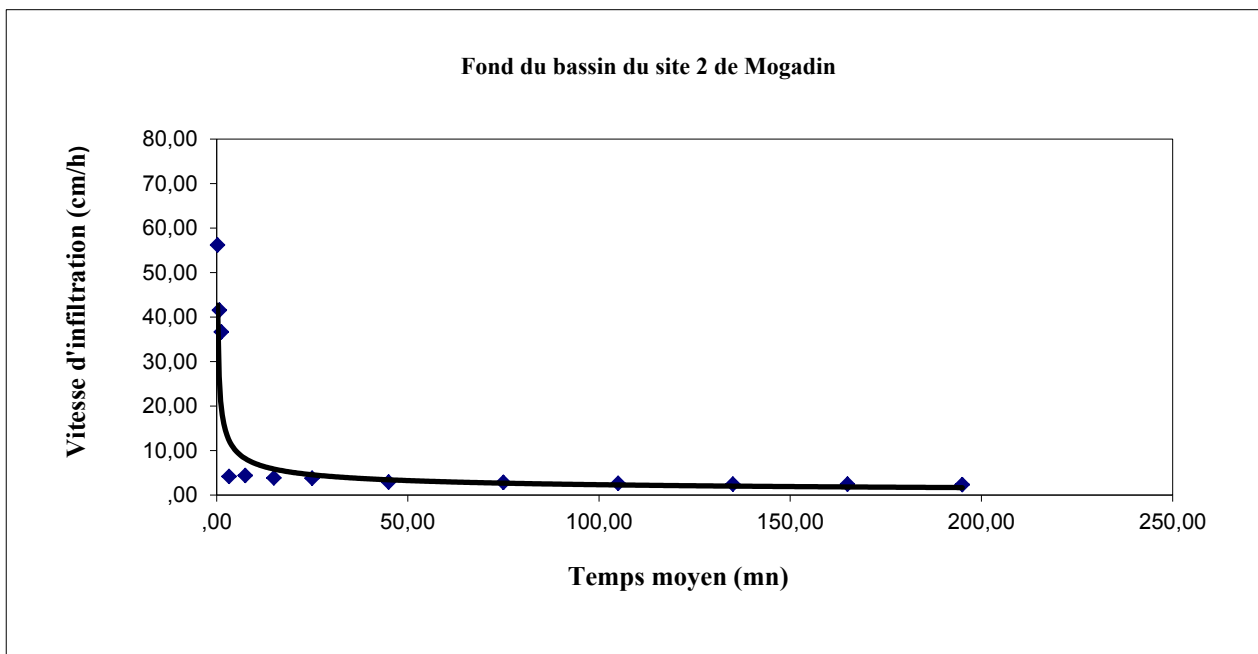


Figure 6 : Evolution temporelle de la capacité d'infiltration sur le site 2 de Mogadin

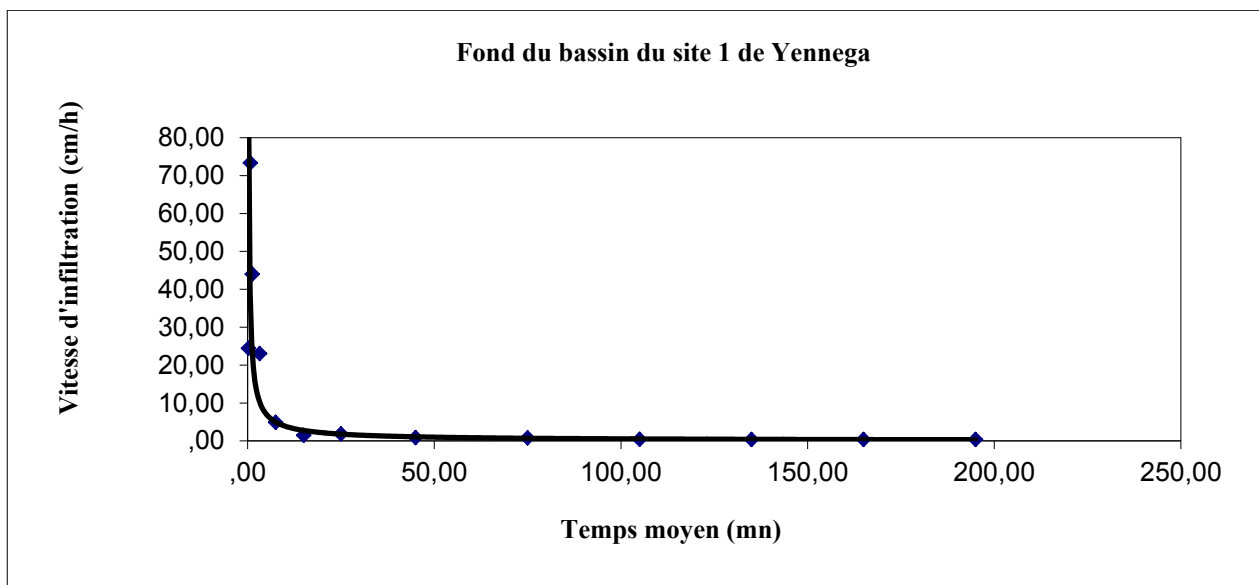


Figure 7 : Evolution temporelle de la capacité d'infiltration sur le site 1 de Yennega

4.3.2. Méthode du perméamètre (NF P 94-512-11)

4.3.2.1. But de l'essai

L'essai a pour but de déterminer en laboratoire le coefficient de perméabilité (K) à l'eau des sols par la loi de la proportionnalité de Darcy reliant le flux d'eau au gradient hydraulique. Il peut se déterminer suivant deux méthodes : à charge constante ou à charge variable.

4.3.2.2. Principe de l'essai

L'essai consiste à soumettre des échantillons des sols à un écoulement d'eau jusqu'à saturation. Après quoi les échantillons seront soumis à une charge hydraulique connue, constante ou variable pour mesurer enfin la différence de hauteur d'eau qui traverse l'échantillon pendant un temps donné.

4.3.2.3. Mode opératoire

L'essai se déroule sur un échantillon de sol à l'état naturel (non remanié). Au laboratoire, les matériaux étant rarement dans cet état, l'essai se réalise alors sur un matériau compacté.

Par conséquent, l'essai Proctor normal est préalablement réalisé pour pouvoir connaître la teneur en eau optimale et la densité apparente sèche maximale des échantillons.

Le matériau est tamisé pour récupérer les passants au tamis de 5 mm, humidifié à sa teneur en eau et compacté dans le moule du perméamètre dans les conditions de l'essai Proctor normal. Ensuite le

Etudes techniques d'imperméabilisation des bassins de collecte des eaux de ruissellement
matériau est arasé sur le bord du moule. Enfin, après fermeture par la plaque supérieure avec deux écrous, le perméamètre sera connecté au réservoir d'eau à l'aide d'un tube piézométrique.



Photo 5 : Perméamètre (NF P 94-512-11)

La circulation d'eau se fera donc de façon ascendante pour limiter l'entraînement des particules par le courant liquide.

La saturation est atteinte lorsqu'un régime permanent s'établit à la sortie du perméamètre. A ce niveau, nous avons opté pour l'essai à charge variable qui est conseillé pour les sols perméables.

4.3.2.4. Calcul et expression des résultats

Le coefficient de perméabilité (K) est obtenu par la formule suivante :

$$k = \frac{L}{t} * \frac{s}{S} * \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

Avec

h1 : niveau initial de l'eau dans le type

h2 : niveau final de l'eau dans le tube

t : temps écoulé pour passer de h1 à h2

s : section du tube piézométrique

S : section de l'échantillon

L : hauteur entre l'orifice d'entrée et de sortie du perméamètre

K : coefficient de perméabilité (m/s)

Les résultats de l'essai sur les différents échantillons sont récapitulés dans le Tableau 13.

Tableau 13 : Résultats d'essai de la perméabilité à l'eau

N° Echantillon	1	2	3	5
Densité sèche maximale (KN/m ³)	17.94	18.12	19.84	20,30
Teneur en eau optimale(%)	14,15	11	10.40	11,43
Coefficient de perméabilité (m/s)	1,15E-07	1,26E-06	2,47E-07	1,78E-08

Les résultats sont interprétés à partir du Tableau 14 qui donne pour chaque valeur de la perméabilité le type de sol correspondant.

Tableau 14 : Interprétation des résultats de l'essai de la perméabilité

K (m/s)	10	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
Drainage	bon						mauvais		Pratiquement imperméable		
Type de sol	Gravillon		sable		Silt et mélange Sable et argile				Argile		
Travaux Génie Civil	Zones perméables				Zones imperméables						

4.3.3. Méthode de mesure à niveau variable in situ

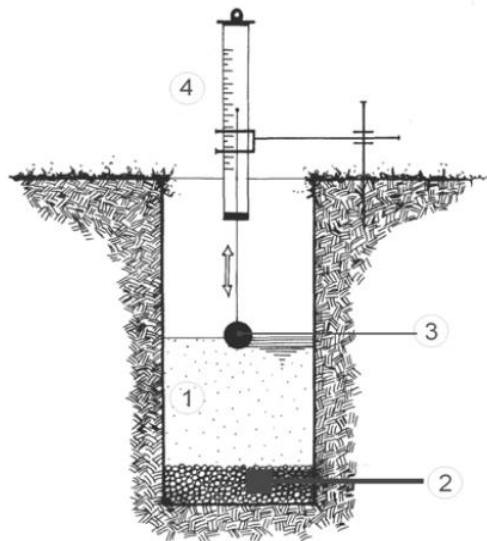
Ils existent plusieurs méthodes mais celle-ci est jugée plus pratique et fournit des valeurs plus proches des conditions réelles (Grela R. et al., 2004).

C'est une méthode qui doit être réalisée selon un protocole expérimental défini. Les étapes suivantes décrivent la procédure d'un test standard :

1. Creuser un trou cylindrique de 15 cm de diamètre à la profondeur du bassin dans la zone de sa construction;
2. Griffer les parois et le fond du trou afin de retrouver la texture naturelle du sol ;
3. Enlever toute la terre excédentaire ;
4. Placer au fond du trou une couche de 5 cm de gravier fin;
5. Remplir le trou avec de l'eau claire sur une hauteur minimum de 30 cm ;
6. Laisser le sol se pré-saturer pendant au moins 4 heures de préférence pendant une nuit. L'eau doit être claire, exempte de produits organiques ou de fortes teneurs en sodium ;
7. Effectuer la mesure :
 - a) Si l'eau demeure dans le trou après la période de pré-saturation. On ajuste la profondeur de l'eau à 15 cm. On mesure ensuite la baisse du niveau d'eau toutes les 30 minutes. Continuer l'essai jusqu'à ce que la dernière lecture soit identique à la précédente ou alors après 4 heures ;
 - b) S'il ne reste plus d'eau dans le trou après la période de pré-saturation. On ajoute 15 cm d'eau dans le trou. On mesure ensuite la baisse du niveau d'eau par intervalle de 30 minutes, et on ajuste la hauteur d'eau à 15 cm en apportant l'eau manquante. On Continue l'essai jusqu'à ce que la dernière lecture soit identique à la précédente ou alors après 4 heures ;
 - c) Si les 15 cm d'eau apportés ont disparu avant que le délai de 30 minutes ne soit écoulé, dans ce cas, l'intervalle de temps entre les mesures doit être de dix minutes.

8. Calculs : le taux de percolation (mn/cm)=Temps (mn)/abaissement du niveau d'eau (cm).

Au moins deux essais de percolation doivent être réalisés, un essai à chaque extrémité du bassin. Ils doivent être réalisés dans des conditions météorologiques normales (sans pluie). La figure 8 montre le dispositif de l'essai.



Légende :

- 1. Eau utilisée pour le test
- 2. Gravier de protection
- 3. Flotteur
- 4. Système de mesure du niveau du flotteur

Figure 8 : Schéma du système de mesure (Grela R.et al., 2004).

Cette méthode a été utilisée au niveau d'un seul bassin (Site 1 Mogodin) mais a été jugée inefficace dans ce contexte par rapport à la méthode double anneau puisque :

- Sa durée de réalisation (minimum 8 heures) est assez longue par rapport à celle de la méthode double anneau ;
- Contrairement à la méthode double anneau, celle-ci est bidimensionnelle c'est-à-dire qu'elle détermine à la fois l'infiltration verticale et latérale or au fond des bassins, la mesure de l'infiltration latérale n'est pas nécessaire.

Toutefois, cette méthode s'avère très efficace lors de la réalisation des nouveaux bassins.

Tableau 15 : Corrélation entre la texture du matériau et sa vitesse d'infiltration (Grela R.et al., 2004).

Texture du matériau (sol)	Taux de percolation (min/cm)	Vitesse d'infiltration (m/s)
Gravier, sable grossier	<0.4	$>4.10^{-4}$
Sable moyen	0.4 à 1.6	4.10^{-4} à 1.10^{-4}
Sable fin	1.6 à 2.1	1.10^{-4} à 8.10^{-5}
Sable limoneux	2.4 à 5.6	7.10^{-5} à 3.10^{-5}
Limon sableux	5.6 à 16.7	3.10^{-5} à 1.10^{-5}

Limon argileux	16.7 à 23.8	1.10^{-5} à 7.10^{-6}
Argile sablonneuse	18.5 à 23.8	9.10^{-6} à 7.10^{-6}
Argile limoneuse	23.8 à 47.2	7.10^{-6} à 4.10^{-6}
Argile, marne	> 47.2	< 4.10^{-6}

4.4. Options d'imperméabilisation

La quantité d'eau perdue par l'infiltration entre le stockage et l'utilisation dans les sols de porosité importante est estimée à 70% (TNAU Agritech Portal,2013).C'est pourquoi des solutions d'imperméabilisation s'imposent pour une gestion durable d'eau en vue de soutenir les cultures face aux impacts des irrégularités des pluies pendant la saison pluvieuse. Ainsi, pour augmenter l'étanchéité des bassins, nous allons essayer de voir certaines techniques :

4.4.1. Le béton armé

4.4.1.1. Introduction

La section du béton seule se fissure et laisse passer l'eau au travers d'où l'idée d'y mettre des aciers pour reprendre les efforts de traction. Quant à l'étanchéité de l'ouvrage, elle est assurée soit par l'ouvrage lui-même soit par un traitement d'imperméabilisation de masse ou de surface, soit par un revêtement d'imperméabilisation qui adhère à la structure ou encore par un revêtement d'étanchéité.

Il existe donc quatre classes d'ouvrages :

Classe A : Ouvrages dont l'étanchéité est assurée par l'ouvrage lui-même ;

Classe B : Ouvrages dont l'étanchéité est assurée par la structure de l'ouvrage complétée par un revêtement d'imperméabilisation ;

Classe C : Ouvrages dont l'étanchéité est assurée par un revêtement adhérent ou indépendant du support, la structure assure exclusivement une fonction mécanique ;

Classe D : Ouvrages construits à l'aide des éléments préfabriqués.

Dans le cas des bassins de collecte des eaux de ruissèlement (BCER), une légère perte d'eau peut être admise notamment par l'évaporation. Pour cette raison, ils seront enduits de mortiers hydrauliques hydrofugés épais ou minces ainsi qu'avec des enduits et peintures à base des liants mixtes ; donc ils seront de la classe B.

4.4.1.2. Fondation de l'ouvrage

Les études géotechniques mettront en évidence les risques liés aux mécaniques du sol. La proposition du système de fondation adapté sera proposée à l'issue de ces études.

4.4.1.3. Dispositions constructives

- Les parois du bassin

L'épaisseur minimale de la paroi est de 12 cm pour les ouvrages de classe B et C et le diamètre des aciers est au plus égal à $h_o/10$ (h_o épaisseur de la paroi) et au moins égal à 8 mm. L'espacement pour les parois en contact avec le liquide à la plus petite valeur entre $1.5h_o$ et 20 cm.

- Pourcentage minimal d'armatures

Le pourcentage minimal d'armatures par rapport à la section totale du béton correspond à l'application de la condition de non fragilité des règles BAEL. En particulier pour les sections soumises à la traction simple, la condition de non fragilité s'exprime par :

$$\frac{A}{b_o d} \geq \frac{f_{tj}}{f_e}$$

Par ailleurs, le pourcentage en œuvre sur chaque face et pour chaque direction ne peut être inférieur à :

- 0,125% pour les armatures hautes adhérence ;
- 0,20% pour les ronds lisses.

Dans la partie courante de la paroi, le rapport de la section totale des armatures de chaque direction à la section de la paroi est inférieur à 2%.

- Radier du bassin, reposant sur le sol
 - l'épaisseur minimale du radier est de 10 cm ;
 - les recouvrements peuvent être assurés en totalité dans la même section pour les armatures dimensionnées par la condition du pourcentage minimal.

Pour les radiers monolithes et solidaires des parois verticales, le pourcentage minimal d'armatures est fixé à 0,25% pour les aciers haute adhérence et 0,4% pour les ronds lisses.

Pour les radiers désolidarisés des parois, la section d'armature par unité de largeur peut être prise égale à :

$$A = 0.75 \mu\text{gL/fe}$$

Avec :

g : poids du radier par unité de surface

L : longueur entre joint

μ : Coefficient de frottement égal 1,5 dans le cas général et à 0,2 en présence d'un film de polyéthylène sur lit de sable

Fe : limite élastique de l'acier utilisé

4.4.2. Bâches synthétiques

4.4.2.1. Introduction

Les bâches synthétiques sont des feuilles de polymères et du caoutchouc, utilisées pour l'étanchéité des retenues d'eau dont les premières applications remontent à 40 ans. Elles ont joué un rôle très important dans le génie civil et en particulier dans la conservation de l'eau agricole et industrielle ainsi que dans la dépollution de l'eau. Ces produits constituent une véritable barrière entre le sol et l'eau. Étant très extensibles, elles s'adaptent facilement à la surface du sol. Leur perméabilité à l'eau est estimée à 10^{-6} cm / jour (K.V Rao et al., 2010).

4.4.2.2. Type de bâches

Les bâches sont appréciées généralement selon le domaine d'utilisation, l'accessibilité et les propriétés mécaniques dont la résistance à la perforation et aux rayons ultraviolets. Par conséquent, nous allons voir deux types :

- Polyéthylène haute densité (PEHD)

Les feuilles en polyéthylène haute densité sont généralement utilisées dans la gamme d'épaisseur de 1,5 à 2 mm et ont une résistance à la perforation adaptée et une ductilité très faible. Elles sont disponibles dans des largeurs limitées de 5 m à 9 m et nécessitent donc des raccordements pour les surfaces plus importantes mais leur sensibilité à la température de la soudure exige une main-d'œuvre qualifiée.

La déformation non contrôlée de PEHD, dans des conditions réelles en l'occurrence la dilution peut ne pas être uniforme sur toute la largeur de la feuille et avoir des zones de concentration de contraintes qui conduisent donc à la rupture.

Un autre facteur d'importance est l'effet de la rupture par allongement excessif car la feuille après avoir atteint une limite donnée, en continuant de réduire d'épaisseur aboutira à la rupture. La déformation utile est donc limitée à la limite d'élasticité, celle à laquelle elle pourra reprendre sa forme initiale soit environ 5%, bien que l'allongement à la rupture soit plus élevé. Ceci est une limitation importante de ces feuilles.

– Bâches en polychlorure de vinyle (PVC)

Très souples dans les manipulations, les bâches en PVC sont proposées à des épaisseurs variées. En revanche, elles sont très sensibles au soleil, elles se durcissent et deviennent cassantes au fil de temps. Notamment des séries d'expérimentation sur des retenues d'eau ont démontrées que les films en PVC génèrent des algues et modifient la propriété de l'eau. Par conséquent ils sont déconseillés en particulier dans les applications critiques de la conservation (BL Deopura and BR Chahar, 2010).

4.4.3. Couche d'argile

4.4.3.1. Introduction

La réalisation d'une couche avec certains types d'argiles au fond des bassins de rétention d'eau peut offrir une perméabilité acceptable. Donc la nature d'argile à utiliser pour cette couche et son épaisseur nécessaire sont les éléments essentiels à déterminer.

Cette partie se focalise essentiellement sur la réalisation d'un essai qui consiste à voir l'évolution de la vitesse d'infiltration des couches de différentes épaisseurs avec des matériaux ayant des caractéristiques géotechniques satisfaisantes.

A cet effet, nous avons fait soumettre à cet essai, deux(2) échantillons de sol dont l'un provient du déblai issu du creusage de l'un des bassins du village de Sandouré et l'autre prélevé dans une carrière dans le même village. Ces deux (2) échantillons ont été choisis, compte tenu de leur proportion d'argile et de leur indice de plasticité (Tableau16).

Tableau 16 : Données des matériaux soumis à l'essai de l'infiltration

N° Echantillon	Proportion d'argile dans l'échantillon	Indice de plasticité
Déblai du bassin	40	22.6
Carrière du village	18	14

Les sols à grains fins ou à dominance argileuse contiennent très peu de pores continus et une fois compactés transmettront l'eau très lentement et auront une faible perméabilité. En plus de cela, les matériaux ayant un indice de plasticité proche de 16 % fournissent des meilleures caractéristiques de compactage (FAO, 2013).

Le principe de l'essai est de compacter un matériau selon sa densité sèche maximale et sa teneur en eau optimale dans un moule CBR et le soumettre à une charge hydraulique de 4 cm.

4.4.3.2. Mode opératoire

- Réduire les mottes de terre et récupérer les passants au tamis de 5 mm ;
- Humidifier et homogénéiser le matériau à sa teneur en eau optimale ;
- Mettre le matériau dans le moule et le compacter jusqu'à l'épaisseur désirée. Les épaisseurs choisies en l'occurrence sont 5,7 et 10 cm pour chaque échantillon ;
- Mettre de l'eau dans le moule (au-dessus du matériau compacté) sur une hauteur de 4 cm et mesurer la baisse du niveau d'eau dans le moule à chaque une heure (ou 2 heures si les variations sont relativement lentes).

Le phénomène sera observé jusqu'à ce que la courbe de l'évolution de la vitesse d'infiltration ait tendance à ne plus croître c'est-à-dire que l'écart entre deux lectures soit très minime.

4.4.3.3. Résultats et interprétations

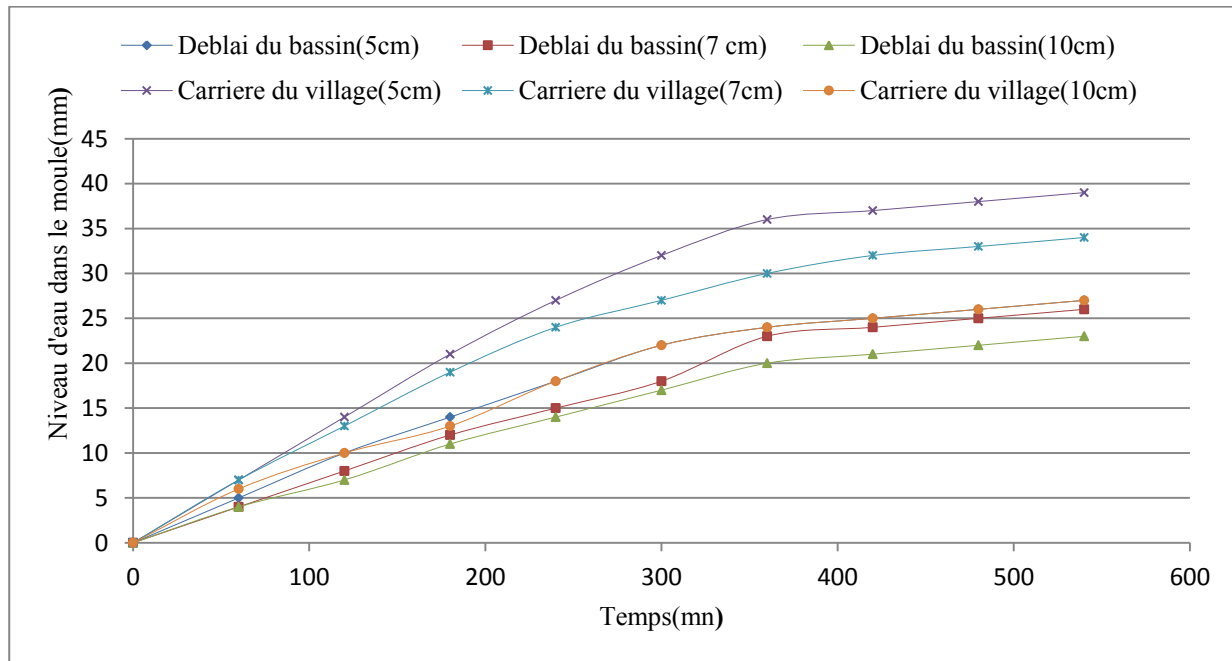


Figure 9 : Evolution de la vitesse d'infiltration des couches compactées

On remarque sur cette figure que :

- De manière générale, l'eau s'infiltré plus lentement au niveau des couches en déblai du bassin qu'au niveau de celles en matériau de la carrière ;
- La couche la plus imperméable est celle en déblai du bassin ayant une épaisseur de 10 cm et la couche la plus étanche est celle en matériau de la carrière de 5 cm d'épaisseur ;
- Les courbes de la vitesse d'infiltration de la couche de 10 cm en matériau issu de la carrière et celle en déblai du bassin de 5 cm se confondent.

Par ailleurs, nous avons réalisé l'essai avec les mêmes matériaux et épaisseurs mais sans compactage pour pouvoir envisager une solution lors de l'indisponibilité des matériels de compactage. La figure 10 montre les résultats de l'essai.

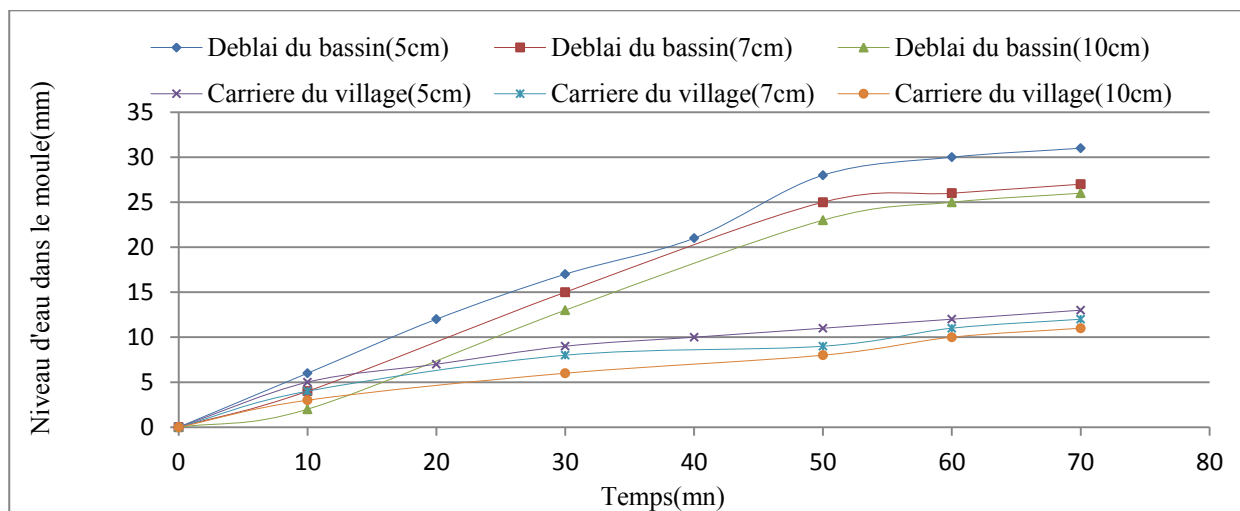


Figure 10 : Evolution de la vitesse d'infiltration des couches non compactées

Contrairement au premier cas, on constate sur cette figure que la pénétration de l'eau est plus rapide pour les couches en déblai du bassin que pour celles en matériau de la carrière. Aussi on remarque que les allures des courbes appartenant à un même matériau évoluent presque de la même manière.

4.4.3.4. Travaux de terrassement

L'imperméabilisation des bassins avec ces sols nécessite de les quantifier exactement pour pouvoir effectuer convenablement les travaux de terrassement. Pour ce faire, nous devons tenir compte du phénomène de foisonnement qui est l'aptitude d'un sol à augmenter de volume après son extraction et lors de son déplacement.

Ainsi, afin d'évaluer le volume foisonné d'un matériau, on sera amené à utiliser des coefficients de foisonnement qui sont fonction de la nature du sol travaillé (Tableau 17). Ce sont des coefficients de majoration permettant de faire la transition entre le volume du matériau augmenté à cause de son contact avec l'air ou l'eau (volume foisonné) au volume compacté qui est fonction des dimensions de la couche à mettre à œuvre.

Tableau 17 : Valeurs du coefficient de foisonnement

Type du sol	Coefficient de foisonnement
Argile, limon, sable argileux	1,25
Grave et sable graveleux	1,10
Sols rocheux altérés	1,30
Sol meuble	1,35

V. Interprétation des Résultats

Les résultats précédemment obtenus sont repris dans le Tableau 18 afin de pouvoir les interpréter par une analyse et une comparaison ainsi que des corrélations entre les essais sur les propriétés mécaniques et sur la perméabilité.

Tableau 18 : Comparaison des résultats

N° Echantillon	1	2	3	4	5	6
Caractérisation mécanique des échantillons						
Gravier et Sable [$\phi > 80\mu$]	6%	7.4%	55%	46%	22%	39%
Limon [$80\mu > \phi > 2\mu$]	78%	79.6%	35%	31%	68%	31%
Argile [$\phi > 2\mu$]	16%	13%	10%	23%	20%	40%
Indice de plasticité	7.8	0	0	—	10	22.6
Degré de plasticité	Peu plastique	Non plastique			Peu plastique	plastique
Nature du sol	Limon	Limon	Limon sablo-argileux	Argile Sableux	Limon argileux	Argile
Résultats de la conductivité hydraulique						
Coefficient de la conductivité hydraulique à saturation	1,02E-06	6,6E-06	3,5E-06	-	-	-
Degré de la perméabilité	Perméabilité moyenne			-	-	-

D'après le diagramme des textures, tous les échantillons, mis à part l'échantillon 6 sont de nature limoneuse. Ceci se confirme par l'indice de plasticité très faible chez ces échantillons (compris entre 7.6 et 10%) et le taux d'argile qu'ils contiennent, qui est de 16 à 20%.

D'autre part, l'essai de l'infiltrabilité réalisé avec le dispositif Muntz donne une perméabilité moyenne pour les bassins où l'essai a pu être réalisé. Toutefois on remarque que les échantillons non plastiques ont une perméabilité plus importante.

Pour corroborer cette affirmation, par exemple l'échantillon 5 a un coefficient de conductivité hydraulique à saturation de $1,78E-08$ m/s. Cette valeur est nettement très faible car son indice de plasticité (10%) et sa proportion d'argile (20%) sont relativement élevés.

VI. Conclusions et perspectives

Le diagnostic des bassins nous a permis de relever les dégradations sur leur structure et leurs équipements. De ce diagnostic, il a été constaté que les dégâts les plus préjudiciables sont les fissures sur le béton coulé au niveau des parois latérales en béton, qui nécessitent des traitements de surface pour minimiser les pertes d'eau à travers les berges.

Afin de décider de la technique d'imperméabilisation des fonds des bassins, des essais classiques sur des échantillons de sols ont été réalisés, permettant ainsi de bien cerner leurs propriétés mécaniques et leur perméabilité à l'eau. Ces essais ont donné un sol limoneux pour tous les bassins à l'exception de celui de M. KANE Mahamoudou (où la nature du sol est argileuse) et une perméabilité moyenne pour les bassins où l'essai a été réalisé. Les résultats de ces essais ont également montré que plus la perméabilité à l'eau d'un sol est grande, moins sont le pourcentage d'argile et l'indice de plasticité.

Trois(3) options d'imperméabilisation ont été étudiées à savoir le béton armé, les bâches synthétiques et les couches d'argile. De ces options, le béton est la solution la plus difficile en termes de coût de réalisation pour les paysans. S'agissant des bâches, elles n'apparaissent pas approprier, compte tenu du manque d'informations précises sur leur durabilité par rapport aux chocs et au rayonnement ultraviolet. L'imperméabilisation des fonds des bassins avec des couches d'argile se positionne quant à elle comme une solution efficace et intégrée.

Par conséquent, un essai sur la vitesse d'infiltration sur les deux(2) types d'argile (déblai de bassin et argile de carrière) a été réalisé. Cet essai a montré que l'échantillon issu du déblai du bassin du producteur KANE Mahamoudou admet moins d'infiltration dans le cas où il est envisagé d'utiliser ce matériau sans compactage. Par contre, le matériau de la carrière d'argile de la localité de Sandouré est plus imperméable lorsque les couches seront compactées dans les conditions Proctor.

L'utilisation de l'argile pour diminuer la perméabilité apparaît aussi comme la technique la plus à la portée des paysans et dont le transfert de la technologie de sa réalisation est la plus aisée. Cette solution peut être utilisée facilement par les paysans après l'échéance du PICIC mis à part une seule difficulté qui est celle du transport du matériau. Ce problème pourra être résolu par l'identification des carrières des matériaux appropriés pour l'imperméabilisation des bassins à proximité de chaque site.

VII. Références bibliographiques

- **Ouvrages et articles:**

- BEAR, J., VERRUIJT, A. (1987). *Modeling groundwater flow and pollution*. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Pays-Bas, 414 p.
- BL Deopura and BR Chahar (2010), *Water Seepage Control through Novel Sheet Materials*. Department of Textile Technology and Department of Civil Engineering Indian Institute of Technology (HT) New Delhi.
- Bruno DUCROT; Bernard FARGEOT; Gérard MATHIEU. Stockage de l'eau: ouvrages en béton, *Contraintes et dimensionnement* (16 pages)
- CALVET R.(2003a) *Le sol : Propriétés et fonctions Tome 1, Constitution et Structure, Phénomènes aux interfaces*, Editions France Agricole.544 pages
- CALVET R.(2003b) *Le sol : Propriétés et fonctions Tome 2, phénomènes physiques et chimiques*, Editions France Agricole.511 pages
- Construction des réservoirs en béton. Fascicule 74 du CCTG /Article I.2.2.1 a II.1
- K.V. Rao, B.Venkateswarlu, K.L. Sahrawath, S.R Wani, RK. Mishra, S.Dixit, K. Srinivasa Reddy, Manoranjan Kumar and U.S. Saikia, (Eds) 2010. *Proceedings of National Workshop-cum-Brain Storming on Rainwater Harvesting and Reuse through Farm Ponds: experiences, Issues and strategies*. Pages: 250
- PK Mishra, KV Rao and MV Padmanabhan (2010). *Farm Pond Technology for Semi-Arid Alfisol Regions of Telengana in Andhra Pradesh*. Central Research Institute for Dryland Agriculture, Hyderabad
- Reddy K.S., Manoranjan Kumar.;Rao,K.V.,Maruthi,V.;Reddy,B.M.K., Umesh B., Ganesh Babu R.,Srinivasa Reddy K.;Vijayalakshmi and Venkateswarlu,B.(2012). *Farm Ponds: A climate resilient Technology for Rainfed Agriculture:Planning, Design and construction*. Central Research Institute for Dryland Agriculture, Santoshnagar, Saidabad, Hyderabad 500059, Andhra Pradesh, India 60 pages
- Roger Duquette, Ernest P. Lauzon 1996 *Topométrie générale*, Presses internationales (413-414 p)
- Xanthoulis Dimitri, *Physique du sol : Unité d'Hydrologie et Hydraulique agricole*. Cours FUSAGX, 60 pages.
- ZANTE, P. (1988), *Un dispositif de Muntz adapté à la détermination des caractéristiques hydrodynamiques du sol*, Multig. ORSTOM Dakar, 20 pages.

- **Sites internet**

- FAO. ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706f/x6706f06. Visité le 28/04/2013
- Plan Burkina. <http://www.plan-burkina.org/./?Plan-Bam>. Visité le 12/05/2013
- TNAU Agritech Portal. [*Farm Pond and Reservoir Lining* - TNAU Agritech Portal](#). Visité le 07/06/2013

ANNEXES

Annexe 1.Courbes granulométriques

Annexe 2.Resultats de la détermination de la conductivité hydraulique à saturation par la méthode Muntz sur le site 2 de Mogodin et site 1 de Yennega

Annexe 3.Résultats de l'expérimentation pour l'évaluation des vitesses d'infiltration de deux (2) types de matériaux avec et sans compactage et à des différentes épaisseurs

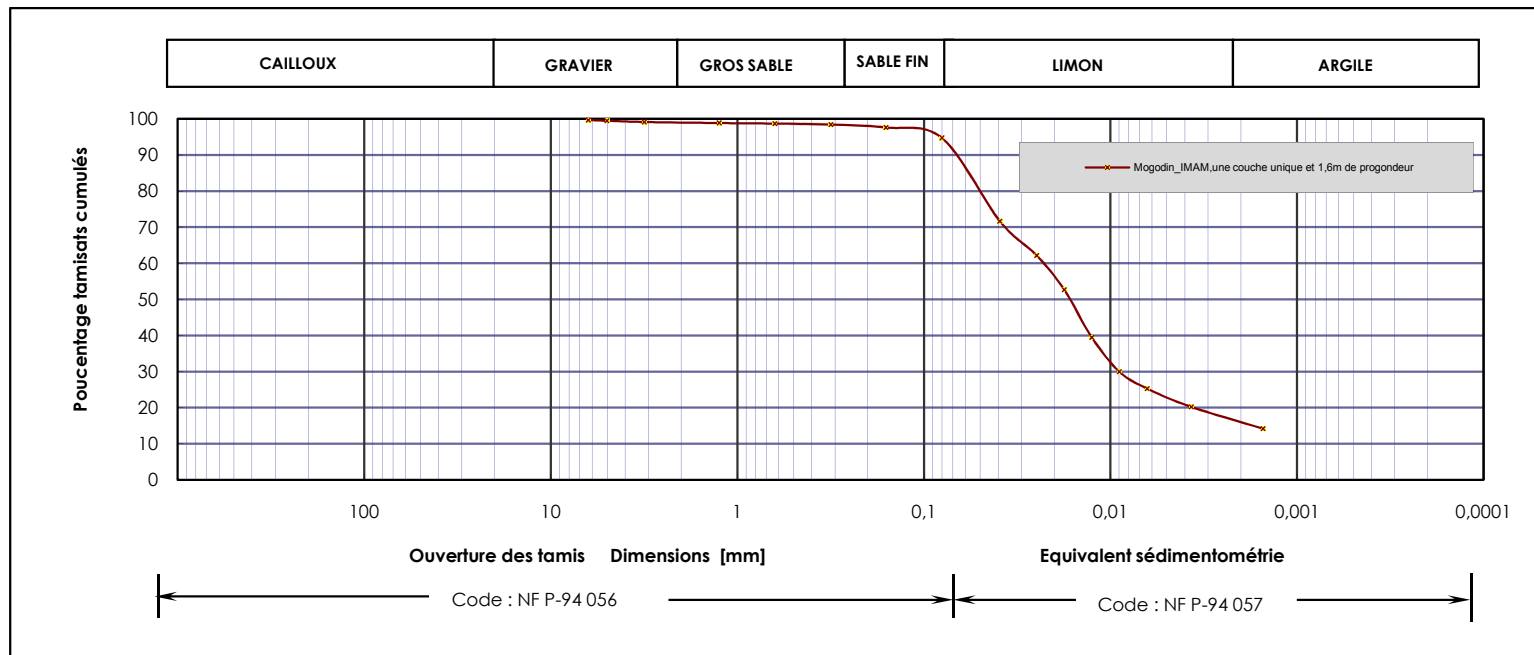
Annexe 1.Courbes granulométriques



CLIENT	TITRE DU PROJET	VISA ING.	OPERATEUR	DATE
2iE CRDI	CRDI MOGODIN-IMAM	KOKOLE KOFFI	ISSA TOGOI	5/20/2013

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

ECHANTILLON (Provenance, n° échantillon, profondeur)	DESCRIPTION SOMMAIRE	% < 250 mm	% < 2mm	% < 80µm	% < 15µm	% < 2 µm	Classification
Mogodin_IMAM,une couche unique et 1,6m de profondeur	Limon fin	100%	98%	94%	39%	16%	



Le Chef Travaux Génie Civil

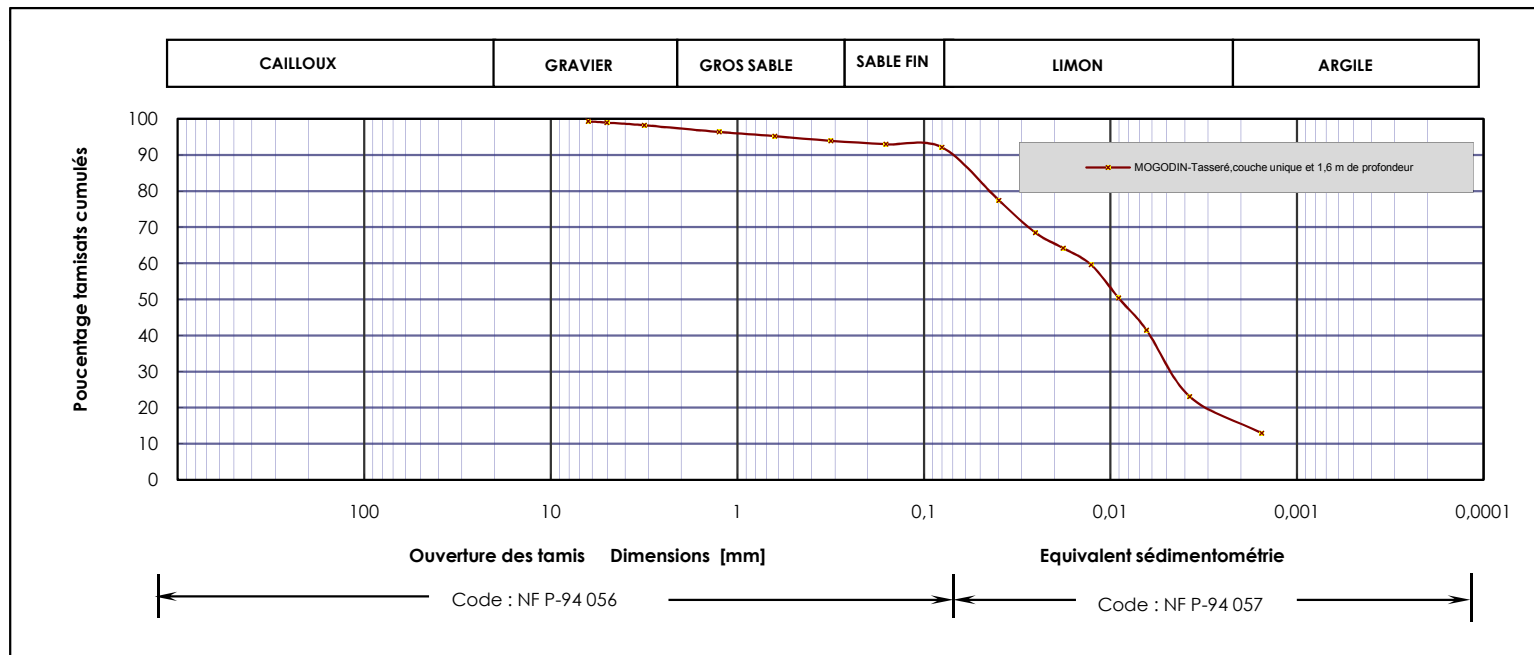
KOKOLE Koffi Agbévidé



CLIENT	TITRE DU PROJET	VISA ING.	OPERATEUR	DATE
2iE CRDI	CRDI SANDOURE	KOKOLE KOFFI	ISSA TOGOI	5/20/2013

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

ECHANTILLON (Provenance, n° échantillon, profondeur)	DESCRIPTION SOMMAIRE	% < 250 mm	% < 2mm	% < 80µm	% < 15µm	% < 2 µm	Classification
MOGODIN-Tasseré,couche unique et 1,6 m de profondeur	Limon fin	100%	98%	92%	60%	13%	



Le Chef Travaux Génie Civil

KOKOLE Koffi Agbévidé



Granulometric curve for Bassin de Yennéga (Dominique), couche 3 épaisseur 1,00m

Dimensions [mm]	Equivalent sédimentométrie	Pourcentage tamisés cumulés (%)
1000	1000	100
100	100	100
10	10	100
5	5	98
2	2	95
1	1	85
0.5	0.5	75
0.25	0.25	65
0.125	0.125	55
0.075	0.075	45
0.05	0.05	35
0.025	0.025	32
0.015	0.015	30
0.01	0.01	28
0.0075	0.0075	25
0.005	0.005	24
0.0025	0.0025	22

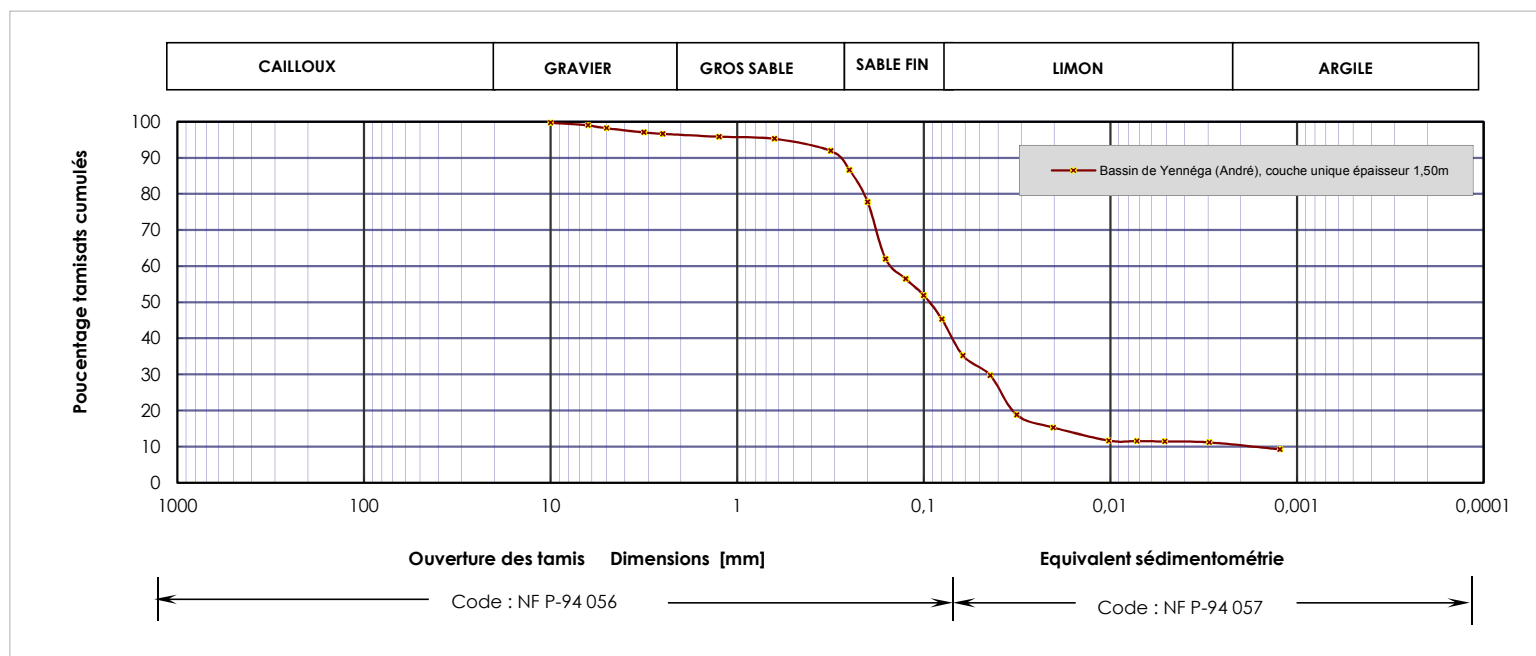
Code : NF P-94 056 (Ouverture des tamis) | **Code : NF P-94 057** (Equivalent sédimentométrie)

KOKOLE Koffi Agbévidé



COURBE GRANULOMETRIQUE COMPLETE

CLIENT	TITRE DU PROJET	VISA ING.	OPERATEUR				DATE	
GVEA/2IE	Projet CRDI Kongoussi	KOKOLE KOFFI	Salif KABORE				05/10/2012	
ECHANTILLON (Provenance, n° échantillon, profondeur)		DESCRIPTION SOMMAIRE	% < 250 mm	% < 2mm	% < 80µm	% < 15µm	% < 2 µm	Classification
Bassin de Yennéga (André), couche unique épaisseur 1,50m		Sable limoneux	100%	95%	45%	15%	10%	



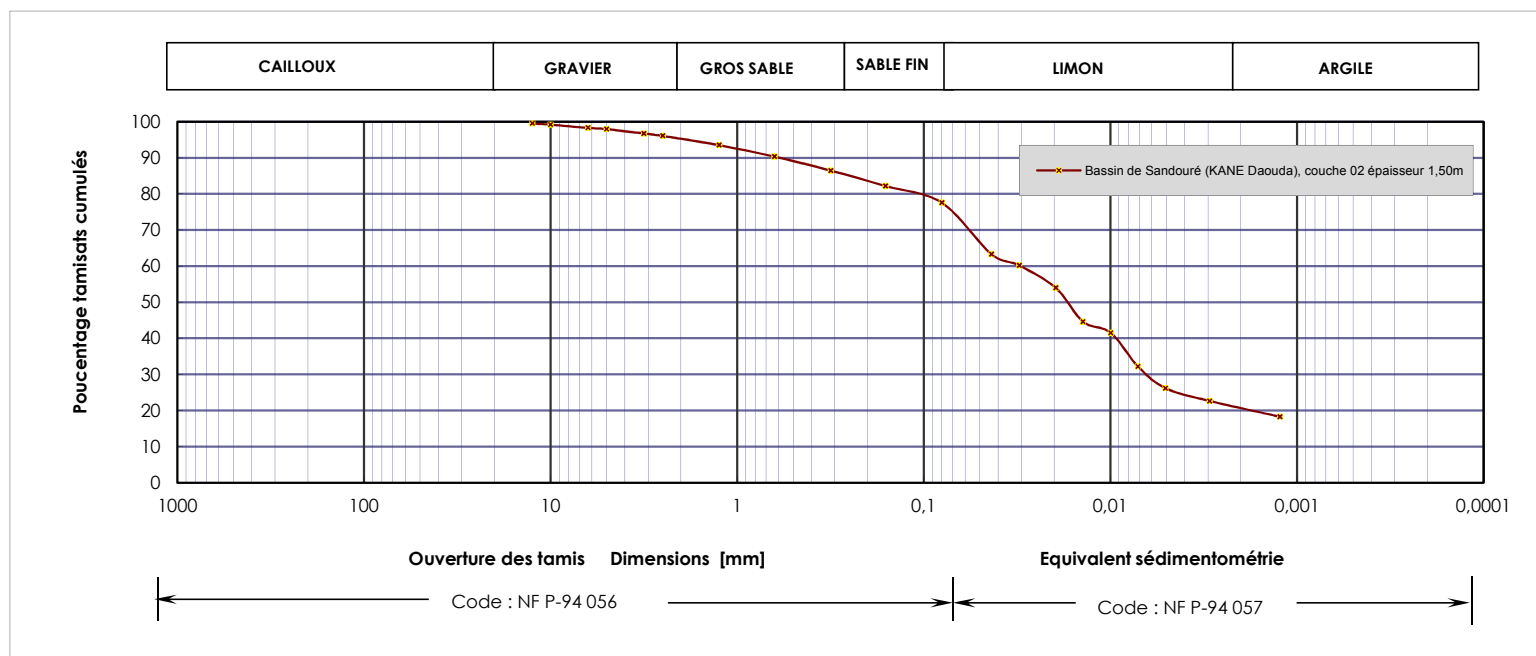
Le Chef Travaux Génie Civil

KOKOLE Koffi Agbévidé



COURBE GRANULOMETRIQUE COMPLETE

CLIENT	TITRE DU PROJET	VISA ING.	OPERATEUR				DATE	
GVEA/2IE	Projet CRDI Kongoussi	KOKOLE KOFFI	Salif KABORE				05/10/2012	
ECHANTILLON (Provenance, n° échantillon, profondeur)		DESCRIPTION SOMMAIRE	% < 250 mm	% < 2mm	% < 80µm	% < 15µm	% < 2 µm	Classification
Bassin de Sandouré (KANE Daouda), couche 02 épaisseur 1,50m		Limon argileux	100%	95%	78%	44%	20%	



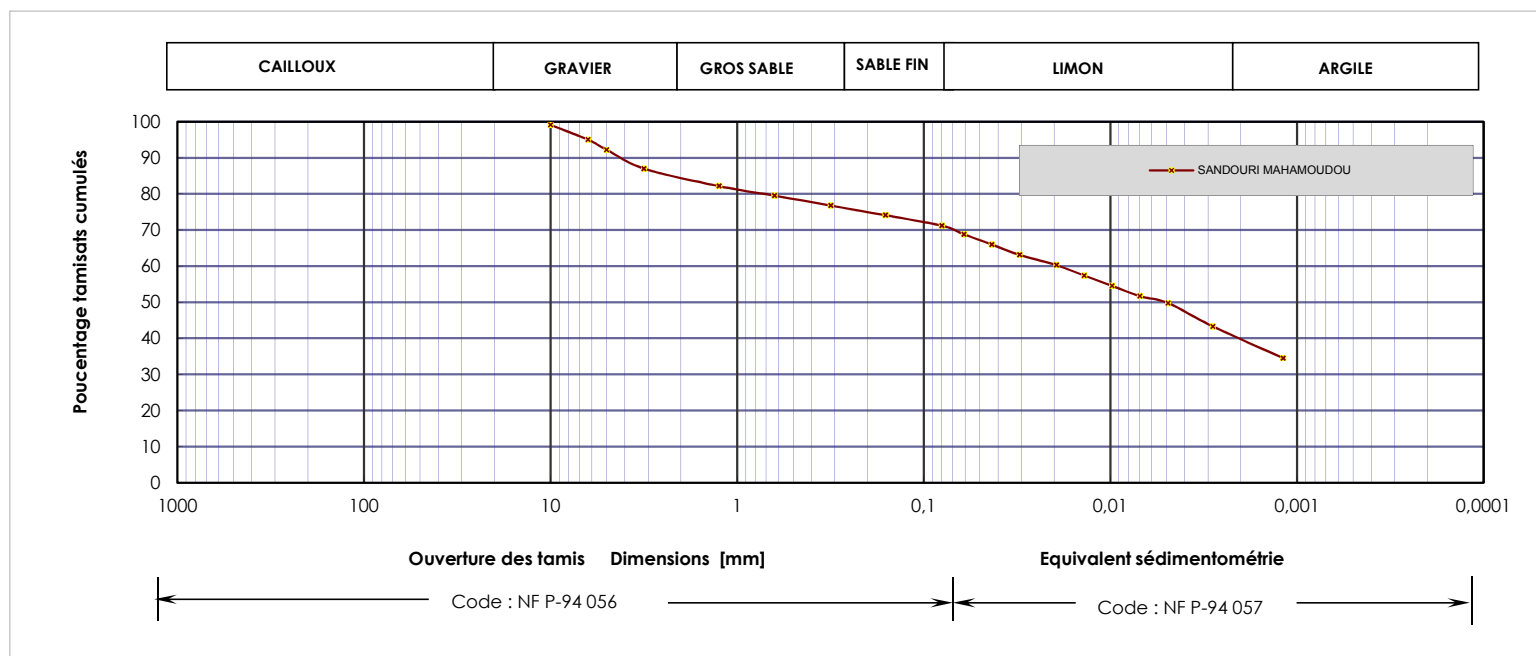
Le Chef Travaux Génie Civil

KOKOLE Koffi Agbévidé



COURBE GRANULOMETRIQUE COMPLETE

CLIENT	TITRE DU PROJET	VISA ING.	OPERATEUR				DATE	
2iE CRDI	CRDI SANDOURI MAHAMOUDOU	KOKOLE KOFFI	ISSA TOGOI				17/05/2013	
ECHANTILLON (Provenance, n° échantillon, profondeur)		DESCRIPTION SOMMAIRE	% < 250 mm	% < 2mm	% < 80µm	% < 15µm	% < 2 µm	Classification
SANDOURI MAHAMOUDOU		Argile limoneuse	100%	84%	71%	57%	40%	



Le Chef Travaux Génie Civil

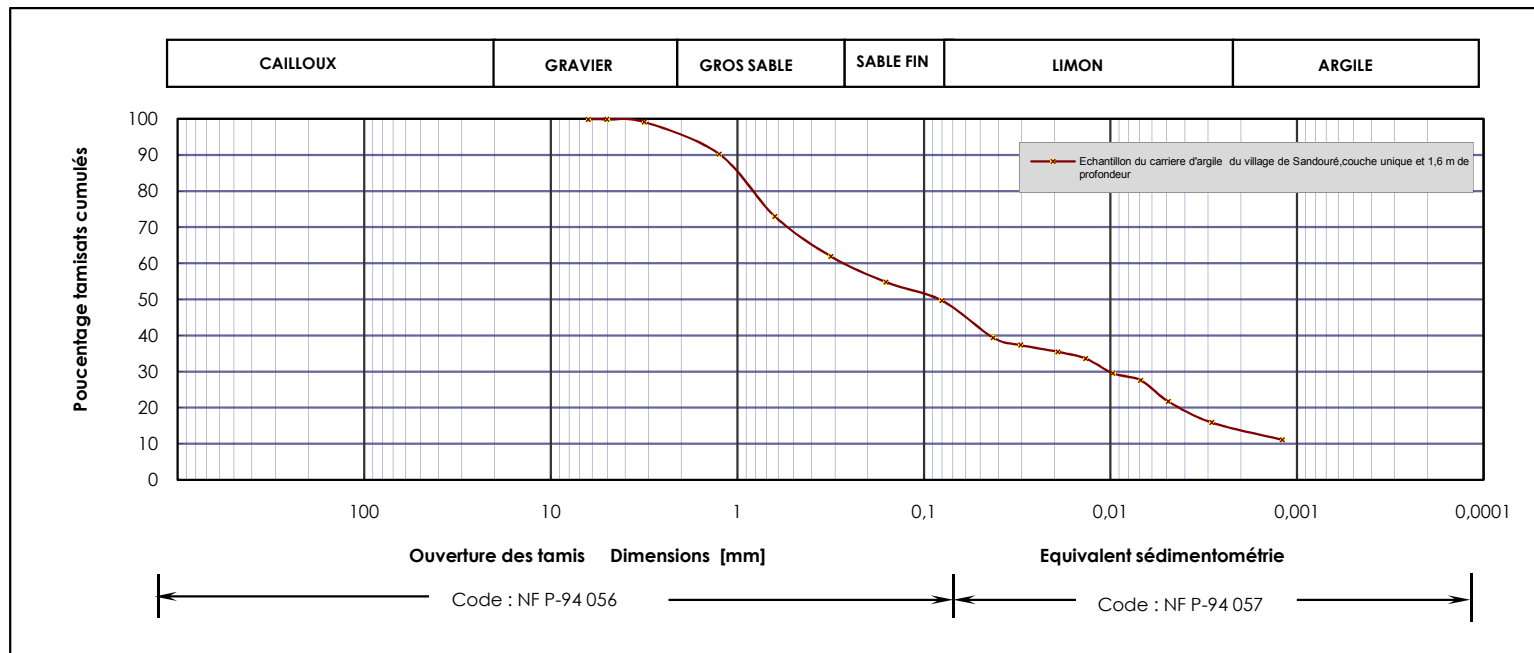
KOKOLE Koffi Agbévidé



CLIENT	TITRE DU PROJET	VISA ING.	OPERATEUR	DATE
2iE CRDI	CRDI SANDOURE-VILLAGE	KOKOLE KOFFI	ISSA TOGOI	5/23/2013

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

ECHANTILLON (Provenance, n° échantillon, profondeur)	DESCRIPTION SOMMAIRE	% < 250 mm	% < 2mm	% < 80µm	% < 15µm	% < 2 µm	Classification
Echantillon du carriere d'argile du village de Sandouré,couche unique et 1,6 m de profondeur	Limon argileux	100%	97%	50%	34%	15%	



Le Chef Travaux Génie Civil

KOKOLE Koffi Agbévidé

Annexe 2. Resultats de la détermination de la conductivité hydraulique par la méthode Muntz sur le site 2 de Mogodin et site 1 de Yennega.

✓ Site 2 Mogodin

t (mn)	V (ml)	h (cm)	dt(mn)	Vi (cm/h)	Tmoy (mn)
0	0	0	-	-	-
0,5	230	0,5	0,5	56,2	0,3
1	170	0,3	0,5	41,6	0,8
1,5	150	0,3	0,5	36,7	1,3
5	120	0,2	3,5	4,2	3,3
10	180	0,4	5	4,4	7,5
20	315	0,6	10	3,9	15,0
30	310	0,6	10	3,8	25,0
60	720	1,5	30	2,9	45,0
90	700	1,4	30	2,9	75,0
120	650	1,3	30	2,6	105,0
150	600	1,2	30	2,4	135,0
180	600	1,2	30	2,4	165,0
210	580	1,2	30	2,4	195,0

✓ Site 1 Yennega

t (mn)	V (ml)	h (cm)	dt (mn)	Vi (cm/h)	Tmoy (mn)
0	0	0	-	-	-
0,5	110	0,2	0,5	26,9	0,3
1	60	0,1	0,5	14,7	0,8
1,5	70	0,1	0,5	17,1	1,3
5	200	0,4	3,5	7,0	3,3
10	210	0,4	5	5,1	7,5
20	250	0,5	10	3,1	15,0
30	205	0,4	10	2,5	25,0
60	360	0,7	30	1,5	45,0
90	330	0,7	30	1,3	75,0
120	320	0,7	30	1,3	105,0
150	310	0,6	30	1,3	135,0
180	310	0,6	30	1,3	165,0
210	310	0,6	30	1,3	195,0

Annexe 3. Résultats de l'expérimentation pour l'évaluation des vitesses d'infiltration de deux (2) types de matériaux avec et sans compactage et à des différentes épaisseurs.

✓ Sans compactage

Epaisseur de couche	Déblai du bassin			Carrière du village		
	5 cm	7 cm	10 cm	5 cm	7 cm	10 cm
Temps(s)/	Baisse du niveau d'eau (mm)					
0	0	0	0	0	0	0
60	5	4	4	7	7	6
120	10	8	7	14	13	10
180	14	12	11	21	19	13
240	18	15	14	27	24	18
300	22	18	17	32	27	22
360	24	23	20	36	30	24
420	25	24	21	37	32	25
480	26	25	22	38	33	26
540	27	26	23	39	34	27
Conductivité hydraulique (m/s)	5,0E-05	4,8E-05	4,3E-05	7,2E-05	6,3E-05	5,0E-05



Photo : Aperçu de l'expérimentation

✓ Avec compactage

Epaisseur de la couche	Déblai du bassin			Carrière du village		
	5 cm	7 cm	10 cm	5 cm	7 cm	10 cm
Temps(s)	Baisse du niveau d'eau (mm)					
0	0	0	0	0	0	0
10	6	4	2	5	4	3
30	17	15	13	9	8	6
50	28	25	23	11	9	8
60	30	27	24	13	10	10
70	32	30	26	14	12	11
Conductivité hydraulique (m/s)	4,57E-04	4,29E-04	3,71E-04	2,00E-04	1,71E-04	1,57E-04