



International Development Research Centre  
Centre de recherches pour le développement international



**Etude comparative de solutions de revêtements  
imperméables de bassins de collecte des eaux de ruissellement**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2IE AVEC GRADE DE  
**MASTER**

**SPECIALITE : INFRASTRUCTURES ET RESEAUX HYDRAULIQUES**

-----

Présenté et soutenu publiquement le 05 Octobre 2020 par

**Taryam Farida Sabrina WILY (2014 0157)**

**Directeur de mémoire : Amadou KEITA, enseignant-chercheur**

Laboratoire Eaux Hydro-Systèmes et Agriculture (LEHSA)

Jury d'évaluation du stage :

Président :

Pr. Hamma YACOUBA, 2iE

Membres et correcteurs :

Dr. Chaim Vivien DOTO, 2iE

M. Patrick GBOHOUI, 2iE

**Promotion [2019/2020]**

**WILY Taryam Farida Sabrina**

**Promotion 2019-2020**

**Septembre 2020**

## DEDICACES

Je dédie ce travail à

Mon père *Sabirina Mohamady WILY* et ma mère *Marie WILY/YAMEOGO*, à qui je dois toute ma réussite. Ils m'ont toujours écouté, orienté et soutenu. Je ne saurais jamais, assez remercier mes parents pour tous leur amour, leurs sacrifices, leurs précieux conseils, leurs encouragements et leurs prières.

Mes frères et sœurs : *Joël, Assim, Nerré* et *Berlanti*, qui me motivent et qui m'ont toujours encouragé. Merci pour votre soutien moral et physique, je vous aime.

Ma grande famille, tous mes oncles et toutes mes tantes, présents et inquiets pour mon bien-être. Je vous remercie pour votre attention et pour votre confiance.

A tous mes amis (*bros, copines, intimes, dynamiques, stars ...*). Merci de faire partie de ma vie. Je vous remercie non seulement pour le bon moral que vous me faites ressortir mais aussi pour tout votre soutien.

A tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à l'élaboration de ce travail, je vous remercie.

## REMERCIEMENTS

C'est avec un cœur rempli de joie que nous achevons ce travail. L'aboutissement de ce travail est le fruit de la contribution de plusieurs personnes qui de près ou de loin, nous ont apporté un soutien inestimable et indéfectible. Qu'elles sachent que les mots nous manquent pour leur exprimer toute notre gratitude.

Nous exprimons toute notre reconnaissance à l'endroit du corps professoral et administratif de 2iE qui ne ménagent aucun effort au quotidien, pour nous assurer un enseignement et un suivi académique de qualité.

Nous remercions le Laboratoire Eaux Hydro-Systèmes et Agriculture (LEHSA) et le Directeur de la Recherche, Professeur Harouna KARAMBIRI et le Centre de Recherches pour le Développement International (CRDI), et tous les stagiaires du Projet « IRRIGATION DE COMPLÉMENT ET INFORMATION CLIMATIQUE : de la recherche au renforcement des capacités d'adaptation institutionnelles et communautaires au Sahel »

Nous remercions infiniment Docteur Amadou KEITA, enseignant-chercheur en irrigation et drainage, notre directeur de mémoire. Merci pour votre orientation, pour votre patience, votre suivi, votre disponibilité, vos précieux conseils et vos nombreuses remarques constructives, tout au long du stage.

Nos sincères remerciements au Docteur Dial NIANG, enseignant-chercheur en Hydrologie, pour sa contribution, sa disponibilité et son aide. Merci pour l'obtention de ce stage dans le cadre du projet CRDI.

Notre profonde gratitude à l'égard du Professeur Adamah MESSAN, de Mr Salif KABORE, de Mr Boukary SAWADOGO, de Marie-Therese GOMIS, de Mr Noël TINDOURE pour leurs différentes contributions.

Un grand merci à Mr. Emmanuel ZONGO, technicien en irrigation et drainage, pour son encadrement sur le terrain. Nous vous sommes reconnaissant pour vos conseils, vos remarques, et votre aide pour la bonne réalisation des travaux.

Un merci spécial à mes collaborateurs Christ Pascal ZERBO, Guélika Judith OUEDRAOGO, Issouf KOLGRE, Bintou Edith SANKARA, Johanne Cyrille NDA, Jérôme BAZONGO

Merci enfin à tous nos proches et à tous ceux qui nous ont soutenu de diverses manières pour l'élaboration de notre étude. Vous êtes formidables.

## RESUME

Assurer la sécurité alimentaire, par amélioration des rendements des cultures, nécessite de maîtriser la ressource en eau. Face à l'irrégularité pluviométrique rencontrée au Sahel, les Bassins de Collecte des Eaux de Ruissellement (BCER) se présentent comme l'innovation recherchée par les agriculteurs.

Le BCER étant une technique de conservation des eaux pour produire efficacement, présente des pertes d'eau par infiltration. Dans l'objectif de réduire ces pertes, cette étude dans le cadre du Projet Irrigation de Complément et Information Climatique se voudrait de présenter, en expérimentant, des solutions à adopter pour minimiser les pertes d'eau par infiltration des BCER. Ces solutions permettront aux bassins de jouer efficacement le rôle de retenue d'eau, qui leur est dédié, en faveur du bon développement agricole.

La présente étude a été menée au Burkina Faso, dans la ville de Ouagadougou, à Kamboisse. Elle a été réalisée sur 09 micros bassins identiques et imperméabilisés de trois types de revêtements : l'argile, le bitume et le plastique. Elle consistait à évaluer, en fonction du matériau utilisé, les pertes d'eau par infiltration des bassins tout en intégrant des facteurs tels que la pluviométrie et l'évaporation. Outre les mesures de perméabilité, les critères de comparaison visés par l'étude étaient la disponibilité et le prix de chaque type de revêtement ; le plus facile à installer et le plus durable.

Les résultats obtenus donnent une infiltration moyenne de 6.72mm/h pour le revêtement plastique ; 12.03mm/h pour le bitume et 13.08mm/h pour l'argile. Des enquêtes menées ont révélé le plastique comme matériau le plus disponible à Ouagadougou, suivi du bitume puis de l'argile. Pour la réalisation d'un des micro-bassins identiques, le prix des différents revêtements pour le même type de micro-bassin s'évalue à 14.175 F CFA pour l'argile, 8.925 F CFA pour le plastique et à 56.825 F CFA pour le bitume. Des essais antérieurs ont montré que le plastique résiste moins au temps et nécessite un renouvellement tandis que le bitume et l'argile ont été évaluées comme durables. Le plastique et l'argile sont faciles à revêtir tandis que le bitume semble être le revêtement le plus complexe à réaliser.

## Mots Clés :

---

**1 – Argile    2 – BCER    3 – Bitume    4 – Plastique    5 - Revêtement**

**ABSTRACT**

Ensuring food security, by improving crop yields, requires mastering water resources. Faced with the rainfall irregularity encountered in the Sahel, the Basins for Collecting Runoff Water (BCER) are presented as the innovation sought by farmers.

Since BCER is a water conservation technique for efficient production, it loses water through infiltration. With the aim of reducing these losses, this study within the framework of the Complementary Irrigation and Climate Information Project would like to present, by experimenting, solutions to be adopted to minimize water losses by infiltration of BCERs. These solutions will enable the basins to effectively play the role of water retention, which is dedicated to them, in favor of good agricultural development.

The present study was carried out in Burkina Faso, in the city of Ouagadougou, in Kamboisse. It was carried out on 09 identical micro basins waterproofed with three types of coatings: clay, bitumen and plastic. It consisted in evaluating, depending on the material used, the water losses by infiltration of the basins while integrating factors such as rainfall and evaporation. In addition to permeability measurements, the benchmarks targeted by the study were the availability and price of each type of coating; the easiest to install and the most durable.

The results obtained give an average infiltration of 6.72mm/h for the plastic coating; 12.03mm/h for bitumen and 13.08mm/h for clay. Investigations revealed plastic as the most available material in Ouagadougou, followed by bitumen and then clay. The waterproofing of identical micro-BCERs for the experiment is estimated at 14.175 F CFA for clay, 8.925 F CFA for plastic and 56.825 F CFA for bitumen. Previous trials have shown that plastic is less resistant to time and requires renewal, while bitumen and clay have been rated as durable. Plastic and clay are easy to coat while bitumen appears to be the most complex coating to make.

**Key words:**

---

**1 – BCER    2 – Bitumen    3 – Clay    4 – Covering    5 – Plastic**

**LISTE DES ABREVIATIONS**

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

**BCER** : Bassin de Collecte des Eaux de Ruissellement

**CRDI** : Centre de Recherches pour le Développement International

**Hcc** : Humidité à la capacité au champ

**H<sub>fp</sub>** : Humidité au point de flétrissement permanent

**K<sub>sat</sub>** : Conductivité hydraulique à saturation

**LEHSA**: Laboratoire Eau Hydro- Systèmes et Agriculture

**SPAW** : Soil - Plant - Air – Water

**SOMMAIRE**

## Table des matières

Dédicaces .....	2
Remerciements .....	3
Résumé .....	4
Abstract .....	5
liste des abréviations .....	6
Sommaire .....	1
Liste des tableaux .....	3
Liste des figures .....	4
<b>I. Introduction.....</b>	<b>5</b>
1.1 Contexte .....	5
1.2 Problématique.....	5
<b>II. Objectifs du travail et/ou Hypothèse de travail .....</b>	<b>7</b>
2.1 Objectif général .....	7
2.2 Objectifs spécifiques.....	7
2.3 Résultats attendus.....	7
<b>III. Revue Bibliographique.....</b>	<b>8</b>
3.1 Critère de choix des matériaux .....	8
3.1.1 L'argile .....	8
3.1.2 Le plastique.....	9
3.1.3 Le bitume .....	9
3.2 Les différents usages des matériaux .....	10
3.3 Durabilité des matériaux.....	10
3.4 Effets secondaires des matériaux.....	12
<b>IV. Matériels et Méthodes .....</b>	<b>13</b>
4.1 Présentation de la zone d'étude, du site expérimental et du dispositif expérimental .....	13
4.1.1 La zone d'étude.....	13
4.1.2 Le site expérimental.....	14
4.1.3 Le dispositif expérimental.....	14
4.2 Démarche expérimentale.....	14
4.2.1 Etude de prix.....	16
4.2.2 Etude des différents matériaux .....	16
4.2.3 Détermination du Ksat du site expérimental.....	21

4.2.4	<i>Détermination du type de sol</i> .....	23
4.2.5	<i>Technique d'installation du BCER</i> .....	23
4.2.6	<i>Etude du dispositif expérimental</i> .....	26
4.2.7	<i>Analyse et traitement des données collectées</i> .....	28
4.2.8	<i>Analyse des eaux collectées</i> .....	29
<b>V.</b>	<b><i>Résultats et discussion</i></b> .....	<b>31</b>
5.1	Etude de prix .....	31
5.1.1	<i>Détermination des points de vente des revêtements</i> .....	31
5.1.2	<i>Prix de vente des revêtements</i> .....	33
5.2	Etude des différents matériaux.....	34
5.2.1	<i>Etude du type d'argile rencontré à Ouagadougou</i> .....	34
5.2.2	<i>Etude du bitume</i> .....	35
5.3	Etude du site initial.....	37
5.3.1	<i>La méthode du double-anneau</i> .....	38
5.3.2	<i>L'essai de Porchet</i> .....	39
5.4	Détermination du site d'expérimental.....	40
5.5	Résultats des données expérimentales.....	41
5.5.1	<i>Moyenne et écart-type</i> .....	42
5.5.2	<i>Normalité des données</i> .....	43
5.5.3	<i>Test de ANOVA</i> .....	43
5.6	Analyse de l'eau.....	43
5.6.1	<i>Physico-chimique</i> .....	43
5.6.2	<i>Dureté de l'eau</i> .....	44
5.6.3	<i>Métaux lourds</i> .....	44
<b>VI.</b>	<b><i>Etude d'impact environnemental et social</i></b> .....	<b>45</b>
6.1	Identification et évaluation des impacts .....	45
6.2	Plan de Gestion Environnementale et Sociale (PGES).....	50
<b>VII.</b>	<b><i>Conclusion- Perspectives</i></b> .....	<b>51</b>
<b>VIII.</b>	<b><i>Recommandations</i></b> .....	<b>52</b>
<b>Annexes</b> .....		<b>55</b>

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Prix de Vente moyen des différents types de revêtements .....	33
Tableau 2 : Densité apparente par site de prélèvement.....	34
Tableau 3 : Humidités caractéristiques et type d'argile.....	35
Tableau 4 : Densité relative du bitume .....	36
Tableau 5 : Résultats de l'essai bille et anneau.....	36
Tableau 6 : Résultats de l'essai de pénétrabilité.....	36
Tableau 7 : Type de sol en surface .....	38
Tableau 8 : Type de sol en fonction de la profondeur atteinte.....	39
Tableau 9 : Différentes profondeurs atteintes lors du sondage .....	40
Tableau 10 : Moyenne et écart-type des données d'infiltration en fonction du revêtement .....	42
Tableau 11 : Moyenne d'infiltration par la méthode d'ANOVA.....	43
Tableau 12 : Matrice de Léopold-Evaluation des impacts négatifs.....	46
Tableau 13 : Matrice de Léopold – Evaluation des impacts positifs .....	47

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Diagramme triangulaire des classes texturales de sol .....	8
Figure 2 : Durabilité argile-plastique-bitume constatée sur la plateforme d'irrigation.....	11
Figure 3 : Présentation de la zone d'étude .....	13
Figure 4 : Dispositif expérimental .....	14
Figure 5 : Démarche expérimentale.....	15
Figure 6 : Densité apparente par la méthode de la bougie.....	17
Figure 7 : Analyse granulométrique de l'argile .....	18
Figure 8 : Détermination des humidités pondérales par la marmite de Richards .....	19
Figure 9 : Essai du point de ramollissement bille et anneau.....	20
Figure 10 : Essai de pénétrabilité du bitume.....	21
Figure 11 : Détermination du Ksat par le double anneau de Muntz.....	22
Figure 12 : Détermination du Ksat par l'essai de tarière.....	23
Figure 13 : Modèle BCER .....	24
Figure 14 : Conditions d'imperméabilisation du bassin .....	24
Figure 15 : Revêtement plastique .....	25
Figure 16 : Revêtement bitumineux.....	26
Figure 17 : Revêtement naturel argileux.....	26
Figure 18 : Bac expérimental pour évaporation.....	27
Figure 19 : Station météorologique Wacthdog de la plateforme d'irrigation .....	27
Figure 20 : Prise des mesures d'infiltration brutes .....	28
Figure 21 : Analyses physico-chimique et microbiologique .....	30
Figure 22 : Prélèvement des échantillons d'argile .....	31
Figure 23 : Sites de prélèvement d'argile à Ouagadougou .....	32
Figure 24 : Echantillons d'argile prélevé .....	34
Figure 25 : Points de mesures d'infiltration .....	37
Figure 26 : Différents points de sondage pour le choix du site.....	41
Figure 27 : Evolution de l'infiltration en fonction du type de revêtement .....	41
Figure 28 : Diagramme des moyennes .....	42
Figure 29 : Paramètres physiques in situ des eaux collectées .....	44
Figure 30 : Analyse des résultats des métaux lourds .....	45

## I. INTRODUCTION

---

### 1.1 Contexte

Au cours des dernières décennies, la variabilité climatique au Sahel a montré la grande vulnérabilité des systèmes de production agropastorale. Une situation qui s'aggrave avec le changement climatique : fréquence accrue des événements climatiques extrêmes, récurrence et allongement des poches de sécheresse et forte incertitude concernant la date de démarrage et la durée de la saison culturale. Les techniques culturales et de conservation des eaux et des sols traditionnellement utilisées, comme le Zaï et la demi-lune, restent peu efficaces en présence de poches de sécheresse fréquentes et de longues durées. (Diarra, 2013).

Afin de réduire la vulnérabilité des systèmes de production, l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) a testé sur trois campagnes agricoles (2011-2014), dans le cadre du projet pilote « Irrigation de complément et information climatique: de la recherche au renforcement des capacités d'adaptation institutionnelles et communautaires au Sahel » financé par le Centre de Recherche pour le Développement International (CRDI), une stratégie d'adaptation innovante basée sur l'irrigation de complément à partir de Bassins de Collecte des Eaux de Ruissellement (BCER).

Les résultats des tests sur l'irrigation de complément à partir de petits bassins de (Yacouba, 2013) ont montré que l'irrigation de complément a permis une augmentation moyenne des rendements de maïs qui passent de 2 à 3 t/ha dans la province du Bam et de 1 à 2.2 t/ha dans celle du Yatenga. Elle a permis également d'améliorer le revenu des femmes grâce à la vente d'une partie de la production maraîchère (tabac, pastèque, aubergine, piment etc.) permise par le surplus d'eau stocké à la fin de la saison pluvieuse.

### 1.2 Problématique

Parmi les deux types de pertes d'eau – l'évaporation et l'infiltration – dans un BCER, seule l'infiltration est particulièrement redoutée et se voit proposer des solutions variées qui méritent d'être étudiées pour retenir les plus durables, moins chères et les plus respectueuses de l'environnement. Des films plastiques d'épaisseurs variées allant de 0.1 à 0.5 mm ont été mis en œuvre dans de nombreux projets comme CRDI-phase 1, P1P2RS qui avait achevé en 2019 53 BCER, l'ODE avec une quarantaine de BCER. Il ressort clairement de ces expériences que le film plastique permet d'imperméabiliser le bassin, même si la technique de son incorporation comme revêtement reste encore à maîtriser. Il existe sur le marché de Ouagadougou des bâches

plastiques d'épaisseur et de coûts variés qui permettent – par la nature plastique des matériaux – indéniablement de stopper l'infiltration au fond et par les parois du bassin. Par ailleurs, les essais de revêtements bitumineux ont également été entrepris par le Laboratoire Eau, Hydro-Science et Agriculture (LEHSA) de 2iE pour évaluer leur efficacité dans l'imperméabilisation des bassins. Finalement, sous certaines circonstances où la présence de couches d'argiles lourdes dans les sols est avérée, il semble qu'on puisse développer des BCER sans faire de revêtements artificiels.

Comparer trois matériaux pour un même type d'usage, c'est analyser leur profil pour dresser des critères d'adaptabilité, c'est établir des arguments favorables et défavorables en se basant sur les résultats obtenus, mais aussi et surtout, apprivoiser la littérature existante. Du reste, pour posséder l'eau, il faut savoir la collecter et la gérer. Plus, l'élaboration d'une technique est pertinente et adaptée aux agriculteurs pour valoriser le mètre cube d'eau, mieux elle peut relever le défi de la souveraineté alimentaire (Doto, 2016).

Pour aider le paysan à sélectionner la technique d'imperméabilisation la plus appropriée, il est capital de pouvoir déterminer quel est le type de revêtement d'imperméabilisation parmi le film plastique, le bitume et l'argile :

Le plus disponible sur le marché local ?

Le moins cher ?

Le plus facile à mettre en œuvre (technique d'installation) ?

Le plus durable ?

Qui minimise la perméabilité (mesures de perméabilité) ?

## II. OBJECTIFS DU TRAVAIL ET/OU HYPOTHESE DE TRAVAIL

---

### 2.1 Objectif général

L'objectif global de notre étude est de contribuer à l'imperméabilisation des BCER dans le cadre du projet « IRRIGATION DE COMPLÉMENT ET INFORMATION CLIMATIQUE : de la recherche au renforcement des capacités d'adaptation institutionnelles et communautaires au Sahel ». Cette étude a pour but d'améliorer la capacité de rétention du BCER par la recherche d'un type de revêtement à la fois efficace, accessible aux paysans et durable.

### 2.2 Objectifs spécifiques

De façon spécifique, il nous reviendra de :

- Identifier les points de vente, à Ouagadougou et ses environs, des types de revêtements imperméables (argile, bitume, plastique) afin de déterminer leur disponibilité et leur prix,
- Etudier la technique d'installation du revêtement la plus facile à mettre en œuvre,
- Déterminer le type de revêtement le plus durable,
- Trouver le revêtement qui minimise le plus l'évaporation et la perméabilité.

### 2.3 Résultats attendus

Au terme de notre travail, nous devons être en possession de données fiables. Pour se faire, une étude scientifique, rigoureuse avec application des méthodes d'inférence statistique, sera nécessaire. Nous devons :

- Générer une base de données sur la localisation et sur les prix des revêtements étudiés dans la ville de Ouagadougou,
- Etablir le type de revêtement le plus disponible et le moins cher,
- Décrire la technique d'installation de chaque type de revêtement et en déduire la plus facile à mettre en œuvre,
- Collecter des données pluviométriques, d'évaporation, et d'infiltration par des mesures effectués sur le terrain et sur les bassins afin de déduire le revêtement qui les minimise le plus,
- Déduire le type de revêtement le plus durable.

### III. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

#### 3.1 Critère de choix des matériaux

L'imperméabilisation et la stabilisation d'un bassin peuvent se faire selon plusieurs types de matériaux qui vont du gazon aux arbustes en passant par l'argile, le bitume voire le film plastique, etc... L'utilisation antérieure de l'argile, le film plastique et le bitume comme revêtements ayant porté des fruits, nos choix se sont portés sur eux.

##### 3.1.1 L'argile

L'argile fait partie des liants minéraux aériens. « Argile » est couramment utilisé pour désigner différentes roches sédimentaires, cristaux, présentant une forte teneur en minéraux. Il n'existe pas une mais des argiles. Selon leurs composition et concentration en minéraux, les différentes argiles ont des structures et des propriétés différentes. (Hernot,2016)

En géologie, l'argile représente les minéraux d'une roche qui mesurent moins de 2  $\mu\text{m}$ . Une terre argileuse est donc composée d'un grand nombre de minuscules particules de roche. Dans la nature, les sols sont très rarement que argileux, que sableux ou que limoneux : c'est souvent un mélange savant de ces trois constituants.

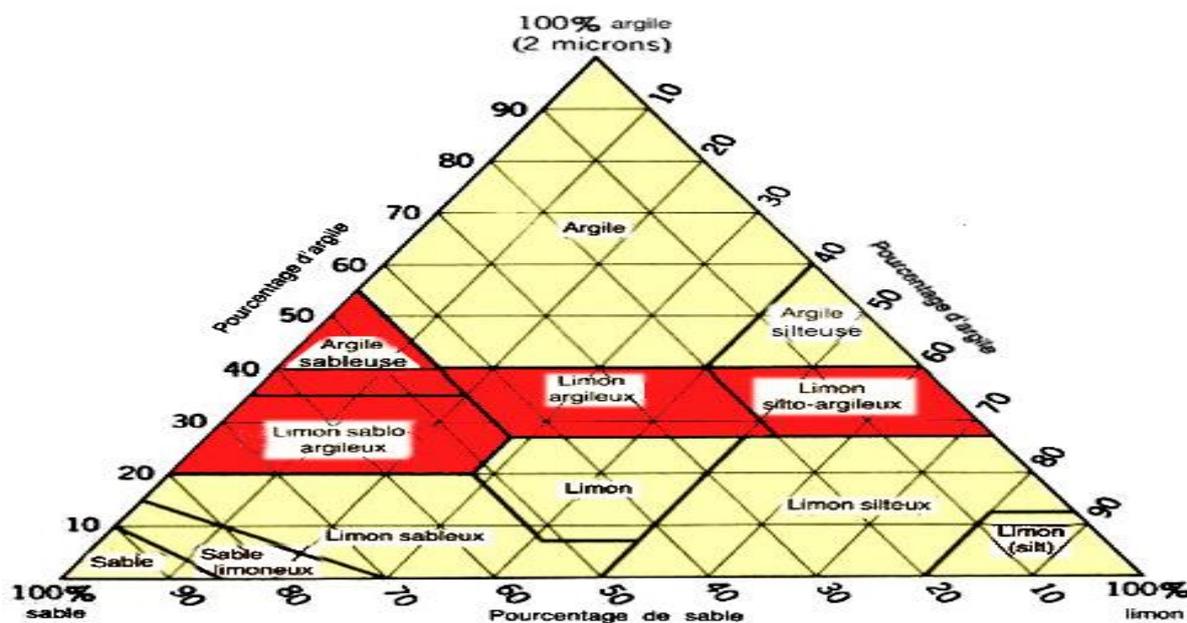


Figure 1 : Diagramme triangulaire des classes texturales de sol

Source : [http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6706f/x6706f06.htm#:~:text=La%20méthode%20du%20triangle%20textural,est%20inférieur%20à%200%2C002%20mm](http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706f/x6706f06.htm#:~:text=La%20méthode%20du%20triangle%20textural,est%20inférieur%20à%200%2C002%20mm)

### 3.1.2 *Le plastique*

Les matières plastiques sont des matériaux organiques constitués de macromolécules obtenues par polymérisation de monomères. Elles sont produites par transformation de substances naturelles, ou par synthèse directe, à partir de substances extraites du pétrole, du gaz naturel, du charbon ou d'autres matières minérales. (Monteil, 2012 )

Les plastiques sont pour (Briand) des matériaux déformables : ils peuvent être moulés ou modelés facilement, en général à chaud et sous pression. Il existe un grand nombre de plastiques aux propriétés différentes, on les classe en trois grandes catégories : les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères.

Les thermoplastiques fondent sous l'effet de chaleur et se solidifient sous l'effet d'un refroidissement. Ils peuvent être remodelés un nombre infini de fois, sans que ses propriétés mécaniques soient modifiées.

Un thermodurcissable reste dur en permanence, même sous l'effet de la chaleur. Sa transformation est irréversible. Une fois formé, il ne se déforme plus. Les élastomères, eux se déforment puis tendent à reprendre leur forme initiale et supportent de très grandes déformations avant rupture. Les thermoplastiques sont les matières plastiques les plus utilisées (notamment le PE et le PVC).

### 3.1.3 *Le bitume*

C'est un liant organique hydrocarboné. Tous les bitumes sont pour (Laldji, 2013) des produits du pétrole brut où ils se trouvent en solution. Ils sont le résultat de l'élimination des huiles servant de solvant par évaporation ou distillation du pétrole brut. Sachant que de tels processus pourraient se produire dans la nature, au niveau des couches souterraines, les bitumes proviennent en conséquence de deux sources : naturelle ou industrielle.

Le bitume provient généralement du raffinage et du traitement des pétroles bruts (Trudeau, 2012). Selon (Sarr 2003), il est composé d'asphaltes, de résines et d'huiles. Il existe cependant 02 types de revêtement bitumineux : Les enduits superficiels et les enrobés hydrocarbonés à chaud.

La classification du bitume peut se faire par plusieurs expériences à savoir :

- Pénétration et/ou viscosité
- Pénétration et température billes et anneaux
- Grade PG du système SUPERPAVE de SHRP

- Grade PG utilisant le MSCR

### 3.2 Les différents usages des matériaux

L'argile colle lorsqu'il est humide et crevasse lorsqu'il est sec. Elle est beaucoup utilisée à Ouagadougou dans la poterie, pour la fabrication de canaris. Enormément utilisé en médecine, l'argile semble être un remède contre des problèmes de peau, des douleurs articulaires, des problèmes digestifs... Selon (Hernot, 2016) en agroalimentaire elle est utilisée pour filtrer l'eau dans le but d'un approvisionnement en eau potable. En agriculture, elle est très utilisée par les agriculteurs pour imperméabiliser les cours d'eau tracés pour l'irrigation des plantes. L'argile est également utilisée dans la construction des habitats sous forme de briques, de mortier et d'enduit.

Le plastique est la matière la plus utilisée. La production mondiale de matières plastiques a progressé de 4,5 % par an en moyenne depuis 1990, selon les estimations de Plastics Europe pour 2018. La planète consomme trois fois plus de plastique qu'il y a 25 ans, 200 fois plus qu'en 1950 (Wikipedia, 2020). En effet le plastique est utilisé partout. Que ce soit dans le secteur de la santé, du transport, de la publicité, industrielle, des revêtements, des vêtements, des accessoires, des articles, des chaussures, de l'automobile, de l'emballage, de l'agriculture, des travaux publics... Il est utilisé quotidiennement.

Selon (Laldji, 2013) depuis l'antiquité le bitume était utilisé pour usage d'étanchéité, sous le nom de « bitume de Judée ». Il avait de multiples emplois : produits pharmaceutiques - servant notamment à la conservation des momies égyptiennes - et cosmétologiques. Il était également utilisé au calfatage des navires et participait à inventer la photographie à Saint-Loup de Varennes en 1824. En effet d'après (Sarr, 2003) ; on utilise beaucoup les bitumes pour la construction routière et pour celle des aérodromes. On les utilise par ailleurs pour la construction des produits d'étanchéité et de certains revêtements protecteurs contre la corrosion.

### 3.3 Durabilité des matériaux

La durabilité d'un matériau est sa résistance à la détérioration en fonction du temps. Elle dépend des propriétés du matériau et des agressions extérieures.

Aujourd'hui, l'argile expansé est un agrégat léger reconnu, bon pour une large variété d'applications. Il a prouvé une matière durable et sûre, résistant aux différents climats du monde entier : des Méditerranées à la Scandinavie, et des Etats-Unis à l'Extrême-Orient. L'industrie d'argile expansée est une industrie durable (Argex, s. d.). Ayant déjà fait ses preuves dans la

construction et le revêtement, l'argile se présente cependant comme un matériau facilement dégradé. Pour être durable, elle doit se combiner à d'autres matériaux comme le ciment.

Quant au plastique, bien qu'étant un matériau très polluant, par sa mauvaise gestion lors de son utilisation quotidienne, il a été évalué que la durée de vie du plastique varie de 100 à 1000ans. Le plastique résiste à la corrosion (à la rouille). Face à cette durabilité, il est très souvent recyclé et réutilisé plusieurs fois. Cependant cette durabilité varie en fonction du type de plastique. Notre étude portant sur les revêtements imperméables, nous nous intéresserons particulièrement aux bâches plastiques. Les bâches plastiques bien qu'aillant une durée de vie assez longue, se présentent comme un matériau à courte durabilité lorsqu'elle est utilisée. Diverses causes peuvent expliquer sa dégradation. L'eau se présente comme une substance, pouvant pénétrer à l'intérieur de certaines matières plastiques et dissoudre certains de leurs additifs chimiques. On a aussi remarqué que les plastiques peuvent se dégrader sous l'effet d'un rayonnement ultraviolet, notamment celui émis par le Soleil. En effet le constat a été fait dans le cadre du projet CRDI lors de quelques essais antérieurs, qu'elle se déchire facilement et doit absolument être renouvelée pour rester efficace.

Le bitume est utilisé comme produit de construction depuis des millénaires (Eurobitume, 2017). Il semble également durable. Lorsque qu'il est utilisé, il peut être récupéré et réutilisé indéfiniment pour produire de nouveaux matériaux. La raison pour laquelle nous préférons parler de réutilisation plutôt que de recyclage pour le bitume, s'explique de l'intérêt à maximiser le taux de matériaux usagés dans son processus de recyclage. La durabilité et les effets secondaires dépendent du bitume utilisé comme revêtement. Celui généralement utilisé semble être du bitume oxydé, type de bitume qui même en perdant sa couleur noire au fil du temps, conserve son imperméabilité.



*Figure 2 : Durabilité argile-plastique-bitume constatée sur la plateforme d'irrigation*

### 3.4 Effets secondaires des matériaux

Avoir un sol argileux peut se présenter à la fois comme un atout et une contrainte. Généralement riche en minéraux, le sol argileux est très fertile et peut permettre de cultiver de nombreuses plantes. Malheureusement elle est souvent redoutée par les paysans car son caractère imperméable et dense le rend relativement difficile à travailler.

Le plastique s'avère être le matériau le plus omniprésent de la planète terre (Paré, 2018). En effet, étant le matériau le plus utilisé dans la vie de tous les jours et dans tous les domaines, ce matériau présente un grand danger pour l'environnement. De nos jours ce danger est réduit à l'échelle mondiale car il est recyclé et réutilisé de manière diverses.

Le bitume et le goudron sont souvent confondus. D'après (Total, s. d.) le bitume provient du pétrole, le goudron est quant à lui issu du charbon et de la distillation entre 800 et 1 100 °C du bois ou de la houille. Il se présente sous la forme d'un liquide noir brillant, plus ou moins visqueux et de densité supérieure à 1. Contrairement au goudron qui est d'origine houillère selon (Laldji 2013), le bitume désigne tout mélange d'hydrocarbures extraits du pétrole par fractionnement qui, sous forme pâteuse ou solide est liquéfiable à chaud et adhère sur les supports sur lesquels on l'applique. Il est la forme la plus épaisse et la plus dense du pétrole. De nos jours le goudron est remplacé par des produits dérivés du pétrole, principalement le bitume. Le bitume est classé non cancérigène par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC). Il présente cependant un risque respiratoire : la fumée de bitume. Elle est à l'origine d'irritation, pénètre dans l'organisme à la fois par voie cutanée et respiratoire. Les produits noirs sont responsables d'un excès de bronchites et d'asthme. Les produits noirs sont également à l'origine de brûlures graves (Travaux routiers, s. d.) .

## IV. MATERIELS ET METHODES

### 4.1 Présentation de la zone d'étude, du site expérimental et du dispositif expérimental

#### 4.1.1 La zone d'étude

L'étude s'est portée dans la région du centre du Burkina Faso, dans la commune de Ouagadougou. La zone d'étude est située sur la route nationale 22 (N22), à Kamboisse, à environ 15km au Nord-Ouest de Ouagadougou.

Située en zone soudanienne, la ville de Ouagadougou est caractérisée par deux saisons : une saison sèche allant généralement de **Novembre à Mai** et une saison pluvieuse de **Juin à Octobre**. Des précipitations moyennes annuelles de **12,9 mm** font du mois de **Novembre** le mois le plus sec tandis que celles du mois d'**Août** sont les plus importantes de l'année avec une moyenne de **223,1 mm**. Au mois d'**Avril**, la température moyenne est de **32,1°C** ce qui fait de lui le mois le plus chaud de l'année tandis qu'**Août** est le mois le plus froid de l'année avec une température moyenne est de **25,4°C**.

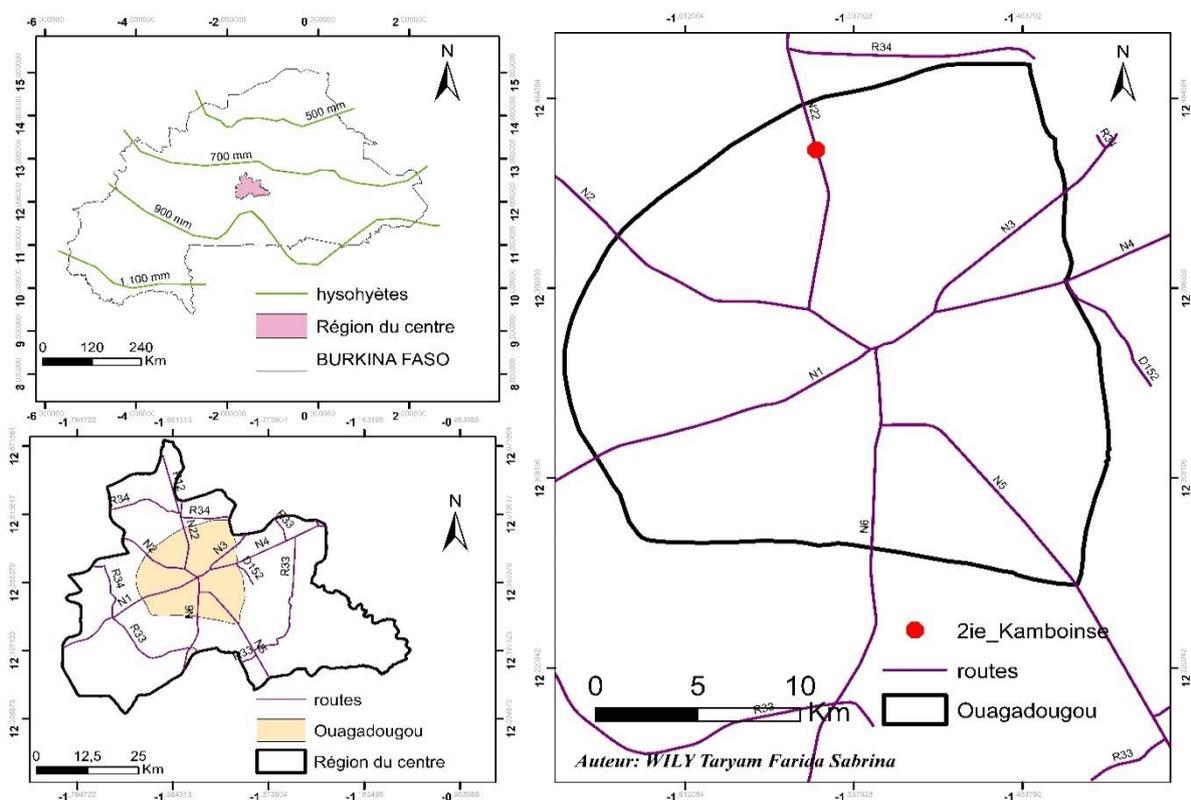


Figure 3 : Présentation de la zone d'étude

#### 4.1.2 Le site expérimental

Le site expérimental choisi pour cette étude est la plateforme d'irrigation de 2iE Kamboisse situé sur K4. La plateforme est composée de systèmes d'irrigation par aspersion et par goutte à goutte, de systèmes de réutilisations des eaux usées, d'une station d'épuration, d'une unité de recherches lysimétriques et d'un périmètre de 50 m x 24 m aménagé pour la pisciculture qui sera aussi sujet de nos travaux.

#### 4.1.3 Le dispositif expérimental

Le dispositif expérimental aménagé pour nos recherches est un périmètre de 40 m x 30m. Il est utilisé principalement pour réaliser des études d'infiltration sur des micros BCER. Ces bassins sont identiques, carrés de 3 m de côté et ont une profondeur de 1,5 m. Ils sont repartis en groupe de 3 bassins revêtus de joints en films plastique, 3 autres de film bitumineux et les 3 restants d'argile. Ces BCER sont au nombre de 09 pour nous permettre d'obtenir statistiquement parlant une moyenne de 3 sur chacun des trois facteurs. Au-dessus de ces revêtements il y'aura une protection en perrés maçonnés. Le dispositif expérimental existe sur le terrain comme le montre la présentation ci-dessous :

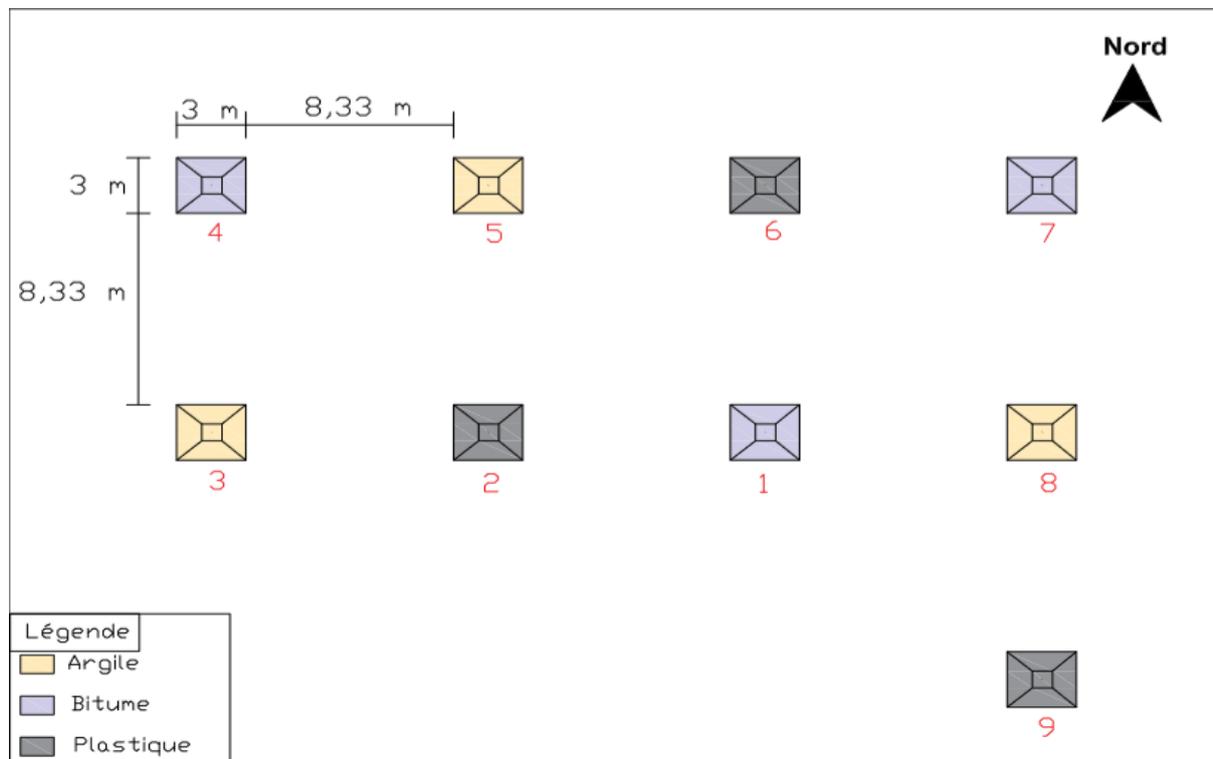


Figure 4 : Dispositif expérimental

#### 4.2 Démarche expérimentale

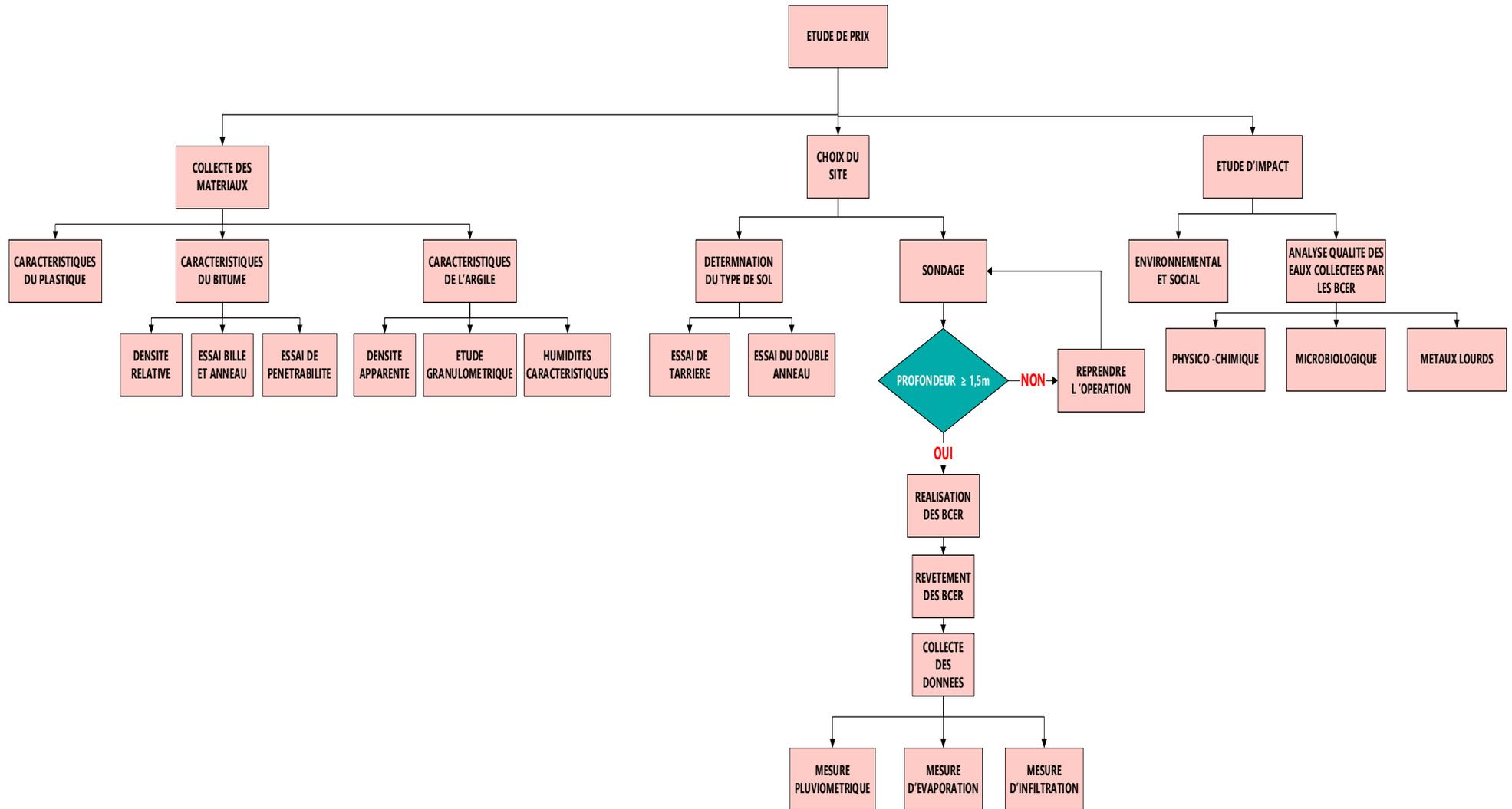


Figure 5 : Démarche expérimentale

WILY Taryam Farida Sabrina

Promotion 2019-2020

Septembre 2020

La démarche expérimentale adoptée consistait à mener dans un premier temps par des enquêtes la localisation et le prix des revêtements étudiés (argile, bitume, plastique). Dans un second temps elle a consisté à étudier, la texture et la structure des matériaux à utiliser, au laboratoire. Ensuite elle nous a poussé à rechercher et à déterminer un site favorable à la construction des BCER par des sondages. Pour enfin étudier la perméabilité des bassins revêtus, leur impacts non seulement environnemental et social mais aussi sur la qualité des eaux retenues.

#### *4.2.1 Etude de prix*

Nos travaux ont débuté par une étude de prix. Cette étude a été préalablement effectuée afin de déterminer quel type de revêtement d'imperméabilisation parmi le film plastique, le bitume et l'argile est le plus disponible sur le marché et le moins coûteux. Pour se faire plusieurs enquêtes ont été menées, à l'aide d'une motocyclette, d'un GPS et d'un carnet d'adresse, dans la ville de Ouagadougou. L'enquête consistait à localiser d'abord les points de vente des 03 types de matériaux ; ensuite à se rapprocher auprès des endroits ciblés pour estimer leurs différents prix pour enfin s'en procurer des échantillons à étudier au laboratoire.

#### *4.2.2 Etude des différents matériaux*

Cette étape nous a permis de connaître la nature des matériaux rencontrés sur le marché. Le type de ces matériaux peut être identifié au niveau des caractéristiques du plastique mais pas pour l'argile et le bitume. D'où la nécessité de les étudier au laboratoire. Concernant l'argile nous avons déterminé d'abord la densité apparente de nos différents échantillons, puis nous avons procédé à deux types d'analyses : l'analyse granulométrique par la méthode de tamisage à sec après lavage et la détermination des unités pondérales par la marmite de Richards. Les résultats obtenus ont été utilisés par le logiciel Spaw. Ce logiciel permet d'identifier le type de sol en fonction du Ksat ou des humidités caractéristiques. Il nous a permis de déterminer le type d'argile étudié. Pour les caractéristiques du bitume, après avoir déterminé sa densité apparente, nous avons également procédé à deux types d'analyses : l'essai bille et anneau et l'essai de pénétrabilité.

##### **4.2.2.1 Densité apparente par la méthode de la bougie**

La densité apparente de l'argile d'un site donné selon (Atoumane, 2017) permet d'estimer la masse de terre fine qu'il possède. C'est un facteur clé pour nous permettre la détermination du type de sol par le calcul des humidités volumétriques. La densité apparente par la méthode de la bougie a été calculée, sur plusieurs échantillons non remaniés, prélevés sur le site en question. Pour se faire, il a fallu déterminer leur masse sèche et leur volume. Les outils et matériels utilisés

pour la réalisation de l'essai ont été : une balance, un récipient, une étuve, des bougies, un réchaud, une éprouvette graduée, de l'eau.

La densité apparente par la méthode de la bougie consiste d'abord à prélever des échantillons d'argile et à les peser pour trouver leur masse humide  $M_h$ . Ensuite à les sécher à l'étuve et une fois séchés, à déterminer leur masse sèche  $M_s$  que l'on recouvre de bougie fondue. Enfin dans une éprouvette graduée contenant une hauteur d'eau initiale  $H_1$ , y mettre un des échantillons recouverts de bougie et noter la nouvelle hauteur d'eau  $H_2$ . Pour chaque échantillon, calculer le volume  $V$  de l'échantillon et sa densité apparente par les formules suivantes :

$$V(\text{cm}^3) = H_2 - H_1 ; da(\text{g}/\text{cm}^3) = \frac{M_s(\text{g})}{V(\text{cm}^3)}$$



**Figure 6 : Densité apparente par la méthode de la bougie**

#### 4.2.2.2 Analyse granulométrique

Elle a été effectuée pour nous permettre de déterminer la proportion d'argile de nos échantillons. L'analyse granulométrique par la méthode de tamisage à sec après lavage consiste à tremper et à laver une masse connue de l'échantillon d'argile à étudier, afin de recueillir le refus sur tamis de  $80\mu\text{m}$  de l'échantillon. Ce refus est séché et cumulé sur chaque tapis puis rapporté à la masse totale sèche de l'échantillon soumis à l'analyse. Pour se faire les outils et matériel utilisés sont : des récipients ; des tamis à mailles carrés allant de 100mm à  $80\mu\text{m}$ , un fond de cuve, un couvercle et étuve.

Selon (Cerema, 2016), l'analyse granulométrique se réalise en mouillant d'abord l'échantillon dans de l'eau, pour ce cas il a fallu 24h. Ensuite laver l'argile trempé à l'eau courante sur un tamis de lavage de 8pico mètres et recueillir le refus sur tamis. Faire sécher ce refus dans l'étuve tout en vérifiant le bon état et la propreté des mailles des tamis. Etalonner la balance à zéro avec le récipient et fractionner le sol avec une série de tamis. Peser successivement le refus cumulé

de chaque tamis et calculer pour chaque tamis les pourcentages de refus cumulés par rapport à la masse  $M_s$ . Enfin tracer la courbe granulométrique et déterminer la proportion de sable de l'échantillon.



*Figure 7 : Analyse granulométrique de l'argile*

#### 4.2.2.3 Détermination des humidités caractéristiques par la marmite de Richards

Le dispositif de Richards fonctionne en utilisant une pression constante créée dans une marmite pour chasser l'eau emprisonnée dans les pores de l'argile jusqu'à épuisement du drainage de celui-ci. Il nous permettra de déterminer les unités pondérales de nos échantillons d'argile. Pour réaliser l'essai par la marmite de Richards nous aurons besoin du dispositif de Richards, de l'eau, de quelques bols et des anneaux cylindriques.

L'essai par la marmite de Richards d'après (Kabore, 2015) consiste d'abord à mouiller un échantillon d'argile prélevé et à tremper des anneaux cylindriques dans de l'eau. Ensuite à bien mélanger l'argile mouillée que l'on mettra dans les anneaux préalablement disposés dans les marmites. Puis on refermera les marmites tout en s'assurant que les pressions sont à 1bars et 15 bars. Enfin on laissera le dispositif évacuer toute l'eau des échantillons (pendant 3 à 4 jours) que l'on récupérera et que l'on pèsera pour trouver leur masse humide  $M_h$ . On les placera à l'étuve pendant 24h pour déterminer leur Masse sèche  $M_s$  et l'on calculera les humidités pondérales  $H_{cc}$  (1bars),  $H_{pfp}$  (15bars) par puis l'humidité volumétrique par les formules suivantes :

$$H(\%) = [M_h(g) - M_s(g)] \div M_s(g) \text{ et } H_V(\%) = (H_{cc} - H_{pfp}) \times da$$



**Figure 8 : Détermination des humidités pondérales par la marmite de Richards**

#### 4.2.2.4 Densité relative du bitume à 25°C

La densité relative du bitume à 25°C sera déterminée par la méthode hydrostatique. Il s'agira de peser à l'aide d'une balance le pycnomètre, avant et après remplissage du bitume, et de l'eau distillée. Pour se faire nous disposerons en plus des éprouvettes (pycnomètres), balance électronique au mg près, bitume et eau distillée, un thermomètre, du pétrole, une pissette, une étuve, un bac à eau.

La densité relative du bitume consiste à déterminer d'abord la masse initiale des éprouvettes vides dans l'air  $P_1$ . Suite à cela remplir les pycnomètres d'eau distillée en s'assurant d'avoir éliminé toutes les bulles d'air. Les plonger dans un bain de température de 25°C, 30min plus tard les retirer et les nettoyer puis déterminer leur masse  $P_2$  rempli d'eau distillé. Ensuite les vider, les sécher à l'étuve puis les remplir à moitié de bitume afin de déterminer leur masse  $P_3$  contenant le bitume. Enfin compléter le vide du flacon par de l'eau distillée et déterminer sa masse  $P_4$  contenant le bitume et l'eau distillée puis calculer sa densité relative par la formule :

$$d_r = \frac{P_3 - P_1}{(P_2 - P_1) - (P_4 - P_3)}$$

#### 4.2.2.5 L'essai bille et anneau

L'essai du point de ramollissement bille et anneau a pour but de déterminer la température à laquelle le bitume se ramolli. Selon (Charles, 2015) cet essai consiste à identifier la température

à laquelle des billes d'acier de 03 grammes traverse des anneaux remplis de bitume. Tout le dispositif étant plongé dans un vase standardisé rempli d'eau distillée que l'on chauffe progressivement en raison de 5°C/min. Comme matériel nous aurons besoin du bitume, une étuve, deux billes, deux anneaux, un vase, de l'eau distillée, une plaque chauffante, un barreau métallique, un thermomètre, un dispositif de guidage des billes, porte anneau et assemblage.

L'essai bille et anneau consiste, d'après la norme (NF EN 1427, 2000) à ramollir d'abord le bitume dans l'étuve pour remplir les anneaux métalliques et à ramener la température initiale de l'eau distillée à 5°C. Ensuite à assembler l'appareillage avec les anneaux d'échantillon de bitume, les billes, le dispositif de centrage de billes et le thermomètre, puis remplir de l'eau distillée. Agiter le liquide du bain et le chauffer par en-dessous, afin que la température augmente à une vitesse uniforme de 5 °C/min. Enfin pour chaque ensemble bille et anneau, noter la température indiquée par le thermomètre au moment où le liant bitumineux qui entoure la bille touche la plaque inférieure.



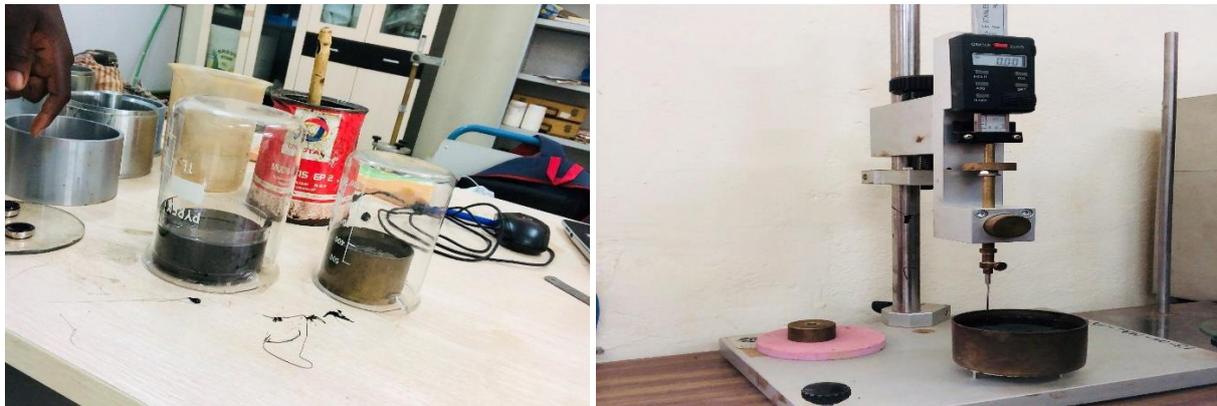
**Figure 9 : Essai du point de ramollissement bille et anneau**

#### **4.2.2.6 L'essai de pénétrabilité**

La pénétrabilité a pour but d'évaluer la consistance du bitume (Charles, 2019). L'essai de pénétrabilité consiste à déterminer la profondeur du bitume pénétré par une charge de 100g à l'aide d'un appareil, le pénétromètre. Cet essai est très important, car il est la base de la classification des bitumes. L'essai de pénétrabilité nécessite en plus du pénétromètre et du bitume, une étuve, une aiguille et une charge de 50g, un bac à eau, un thermomètre, un chronomètre, deux coupelles.

L'essai de pénétrabilité d'après la norme (NF EN 1426, 1999), consiste d'abord à ramollir le bitume et à remplir les coupelles avec, à recouvrir l'ensemble avec des béciers et à le laisser au

repos pendant 1h30 min à la température ambiante. Ensuite laisser les coupelles remplies de bitume dans un bain de 25°C pendant également 1h30 min. Enfin les retirer du bain et à l'aide du pénétromètre, procéder aux essais avec une durée d'application de charge de 5secondes.



**Figure 10 : Essai de pénétrabilité du bitume**

#### 4.2.3 Détermination du Ksat du site expérimental

La détermination du Ksat a été déterminé à partir des résultats des essais d'infiltration sur le logiciel Minitab. Au vu de la profondeur de nos bassins, l'infiltration de notre zone d'étude a été faite à une profondeur de 1,5m. Pour de meilleures données sur l'infiltration du site, une étude comparative de l'infiltration du sol à la surface et à une profondeur de 1,5m a été faite. Pour se faire, nous avons procédé par deux méthodes : L'essai par la méthode du double-anneau et l'essai de carrière.

##### 4.2.3.1 Méthode du double anneau (de MUNTZ)

La méthode du double anneau permet de mesurer l'infiltration de l'eau à la surface du sol en fonction du temps afin de déterminer si le type de sol étudié est adapté pour l'agriculture. D'après (Keita, 2019) ; elle est constituée de deux anneaux, un anneau externe pour éviter des fuites d'eau de façon transversale et un anneau interne pour permettre à l'eau de s'infiltrer de façon verticale. C'est dans l'anneau interne que s'effectuera la mesure. Pour la réalisation de l'essai, deux anneaux cylindriques, une planche en bois, un marteau, un niveau à eau, une règle graduée, un sachet plastique, un arrosoir et un chronomètre y sont nécessaires.

Le double anneau de MUNTZ consiste d'abord à identifier un point de mesure, à y placer les anneaux (le petit centré à l'intérieur du grand) et à implanter les anneaux à environs 15 cm de profondeur à l'aide de la planche et du marteau. Ensuite à vérifier l'horizontalité des anneaux avec le niveau à eau puis à l'aide du plastique et de l'arrosoir, mettre de l'eau dans les anneaux

à ras de bord. Enfin à recouvrir les anneaux pour éviter une perte d'eau par évaporation, et après chaque mesure à ramener le niveau d'eau au niveau initial.



**Figure 11 : Détermination du Ksat par le double anneau de Muntz**

#### **4.2.3.2 Réalisation de l'essai Porchet grâce à l'essai de tarière**

Pour cette étude, l'essai à la tarière a permis d'effectuer des essais porchet afin de déterminer quelle est la nature du sol rencontré à la profondeur des 1m50. L'essai Porchet d'infiltration de l'eau dans le sol consiste à creuser un trou dans un sol, puis à le saturer d'eau pendant un certain temps (Wikipedia, 2018). Ensuite on maintient le niveau d'eau constant dans ce trou et on mesure le volume d'eau qui s'infiltre dans le sol, pendant un certain temps. Elle a permis à l'aide d'un tube en PVC, de mesurer l'infiltration de l'eau à une profondeur de 1m50 du sol, en fonction du temps. Les outils et matériels utilisés pour la réalisation de l'essai sont : la tarière à vis, un tube plastique de 2 m de profondeur, une planche en bois, un marteau, un niveau à eau, une règle graduée, un arrosoir, un chronomètre.

Pour réaliser l'essai Porchet, la tarière est enfoncée verticalement sur le point du terrain à excaver, en la tournant au fur et à mesure avec force. Il est ensuite retiré la tarière pour évacuer le sol creusé. L'opération est ensuite répétée au fur et à mesure jusqu'à la profondeur de 1m50, en augmentant les rallonges de la tarière à vis si nécessaire. Une fois le point de mesure totalement réalisé, il est implanté le tube plastique à l'aide de la planche et du marteau tout en vérifiant son horizontalité avec le niveau à eau. A l'aide de l'arrosoir, le tube d'eau est rempli. A partir de cette étape les mesures peuvent être prise en fonction de l'infiltration de l'eau. Après chaque mesure, l'eau est ramenée au niveau initial.



**Figure 12 : Détermination du  $K_{sat}$  par l'essai de tarière**

#### 4.2.4 Détermination du type de sol

Les résultats obtenus lors des différents essais de double anneau et de Porchet ont été traités par le logiciel Minitab et ensuite utilisés par le logiciel Spaw pour déterminer le type de sol non seulement à la surface mais aussi en profondeur. La recherche de la nature du sol en surface permet de d'évaluer ce sol pour savoir s'il est adapté pour l'agriculture ou pas tandis que le type de sol à la profondeur de 1m50 permet d'apprécier la nécessité ou pas d'un revêtement imperméable pour le bassin.

#### 4.2.5 Technique d'installation du BCER

L'installation d'un BCER nécessite un processus à suivre. Ce processus selon (Lawane, 2019) peut être résumé en trois (03) étapes. La détermination de la zone d'implantation du dispositif expérimental, le modèle de BCER à réaliser et l'installation de chaque type de revêtement.

##### 4.2.5.1 Détermination de la zone d'implantation des BCER

La zone d'implantation des BCER nécessite une étude préalable. Cette étude a consisté à s'assurer par des essais de sondage à la tarière, de la possibilité que les BCER puissent atteindre la profondeur de 1m50 requise.

##### 4.2.5.2 Modèle de BCER

L'installation des BCER a été faite selon la figure 5. Il opté de qualifier ces BCER de micros-BCER par leurs petites tailles, tailles adaptées juste pour nous permettre d'effectuer nos études expérimentales. Les limites des micros-bassins seront d'abord matérialisés sur le site choisi, puis excavés et talutés pour obtenir la forme montrée par la représentation ci-dessous :

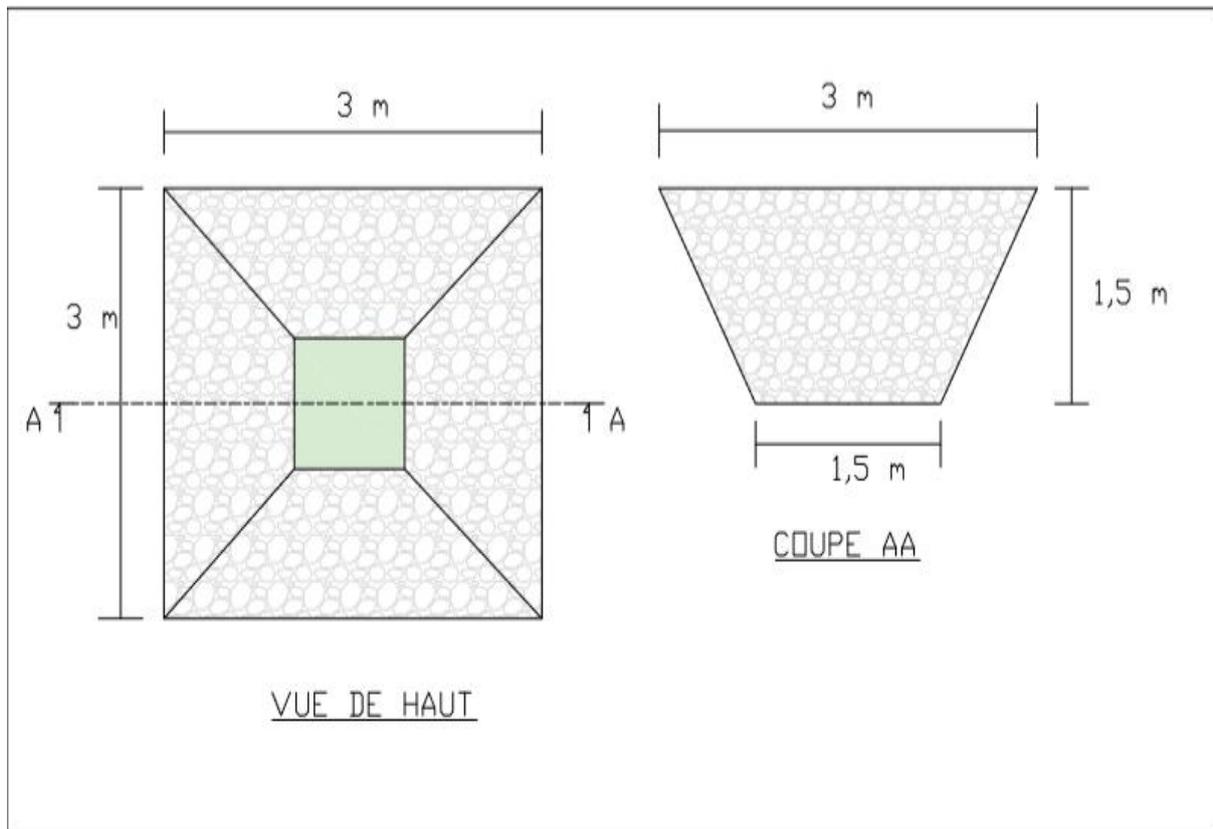


Figure 13 : Modèle BCER

#### 4.2.5.3 Méthode d'installation du revêtement des BCER

Les revêtements des BCER doivent normalement suivre la norme suivante selon (Keita, 2019) :

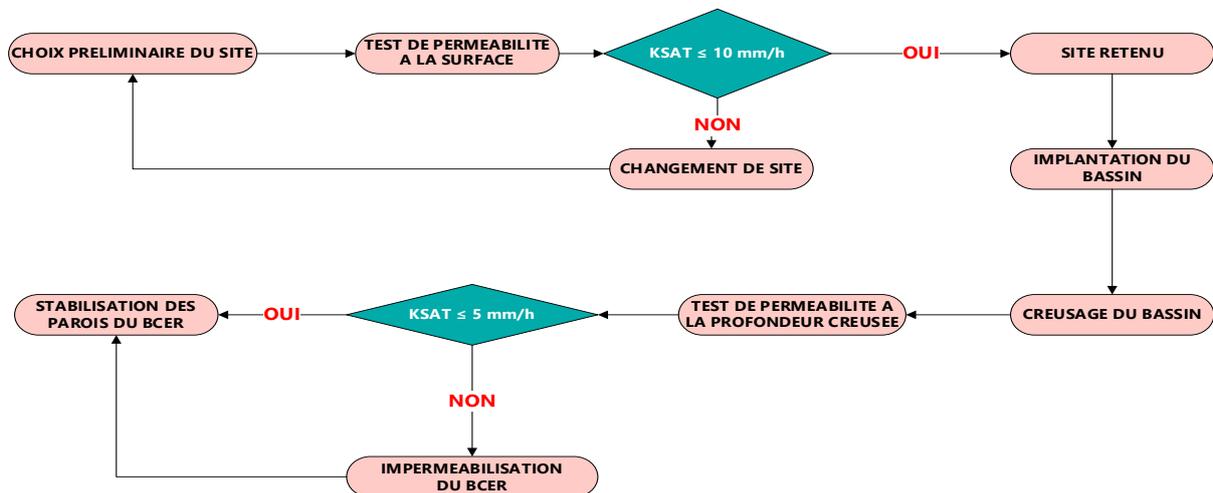


Figure 14 : Conditions d'imperméabilisation du bassin

L'installation d'un BCER passe par un cheminement pour s'assurer d'atteindre l'objectif fixé. Le BCER étant à but agricole la détermination du type de sol en surface est d'une importance capitale. Elle respecte une norme selon (Keita, 2019), celle d'obtenir un Ksat en surface inférieure à 10mm/h. Lorsque la condition est respectée, l'installation du bassin est

envisageable. La détermination du type de sol en profondeur permet, elle, d'évaluer ou pas si le sol est naturellement imperméable. Elle permet donc d'apprécier la nécessité ou pas d'un revêtement pour imperméabiliser le bassin.

Au vu de l'objectif fixé par notre étude, après construction les 09 bassins ont été revêtus : 03 en plastique, 03 en bitume et 03 en argile.

- **Le revêtement plastique**

Le revêtement plastique des micros BCER a été fait grâce à des bâches plastiques carrées de 6,50m de côté. La bâche carrée a été obtenue en reliant le film plastique par couture. Elle a été ensuite placée à l'intérieur du bassin tout en s'assurant avant l'installation, du bon état de cette bâche (durable et n'ayant aucun point pouvant présenter une fuite quelconque). La bâche soigneusement placée dans le bassin, on y met de l'eau pour qu'elle épouse la forme du bassin. Le plastique carré réalisée expressément au préalable pour déborder après l'installation, est taillée avant la protection des bordures du BCER par un perré maçonné.



*Figure 15 : Revêtement plastique*

- **Le revêtement bitumineux**

Le revêtement en bitume a été le plus complexe à réaliser. Il a été réalisé dans un premier temps en faisant fondre le bitume. La fonte du bitume a duré quelques heures allant de 4 à 5 heures de temps. Après sa fonte, il a été transporté dans le bassins et grâce à un pinceau, il a été utilisé pour revêtir d'abord les parois puis le fond du micro BCER. Le revêtement bitumineux a nécessité beaucoup plus d'efforts, de temps, de patience et d'attention.



**Figure 16 : Revêtement bitumineux**

- **Le revêtement argileux (déblai nu)**

Au vu de l'état naturel du bassin qui semble argileux, nous avons opté comme revêtement argileux de laisser le bassin nu. Cependant comme les autres types de bassins, ses bordures ont été protégées par un perré maçonné.



**Figure 17 : Revêtement naturel argileux**

#### 4.2.6 Etude du dispositif expérimental

L'étude du dispositif expérimental s'est déroulée en recueillant trois données importantes : l'évaporation, l'infiltration et la pluviométrie des BCER

##### 4.2.6.1 Mesure d'évaporation

L'évaporation au niveau du site expérimental se mesure à l'aide d'un bac.



**Figure 18 : Bac expérimental pour évaporation**

Les pertes par évaporation  $P_e$  se calculent comme suit :  $P_e(mm) = H_2 - H_1 - P$

Avec  $H_1$  et  $H_2$  les hauteurs d'eau en mm lu sur le bac à évaporation respectivement le jour 1 et le jour 2 et  $P$  la hauteur de pluie tombée entre le jour 1 et le jour 2.

#### 4.2.6.2 La pluviométrie

Chaque pluie tombée est mesurée sur le site expérimental d'irrigation de Kamboisse. Elle est mesurée et enregistré avec un appareil. Il s'agit de la station météorologique WachtDog installée sur la plateforme expérimentale d'irrigation sur K4.



**Figure 19 : Station météorologique WachtDog de la plateforme d'irrigation**

#### 4.2.6.3 Mesure d'infiltration brutes

Des mesures d'infiltration dites brutes car comprenant des mesures d'évaporation et de pluies, ont été effectuées directement sur les BCER. Pour faciliter la mesure de la hauteur d'eau infiltrée, plusieurs dispositions ont été mises en place. Tout d'abord il a s'agit pour nous de pouvoir identifier les bassins par des panneaux numérotés de 1 à 9 comme le montre la figure 5. La donnée de la hauteur d'eau infiltrée étant la plus importante, il fallait faciliter sa lecture

par l'installation d'un dispositif. Ce dispositif est un fil rattaché à deux piqués situés d'un côté du bassin à son côté opposé et matérialisé par un feutre. La lecture a été faite avec l'utilisation d'un décimètre au point matérialisé par le feutre, et les valeurs ont été notées précieusement dans un carnet.

Ensuite pour une meilleure collecte des données, les mesures ont été régulières et ont respectées un certain nombre de règles pour réduire les risques d'erreurs. Afin d'optimiser nos résultats et limiter les risques d'erreurs, les mesures d'infiltration sur les BCER ont été prises journalièrement et de façon aléatoire mais toujours à la même heure, à 9h. Par exemple pour réduire les risques d'erreurs liés à l'opératrice, si aujourd'hui les données recueillies se font sur les bassins en suivant cet ordre 02-09-06-01-07-03-05-08-04 à partir de 9h, demain à 9h les données ne doivent plus être dans l'ordre d'aujourd'hui mais dans un autre ordre comme celui-ci 07-01-04-09-06-02-08-03-05.

Enfin pour une meilleure appréciation de l'infiltration, on a opté pour le remplissage des bassins après chaque mesure. A l'aide d'une pompe immergée, le remplissage des BCER a été réalisé à partir de l'eau collecté dans le barrage de Kamboisse.



**Figure 20 : Prise des mesures d'infiltration brutes**

#### **4.2.7 Analyse et traitement des données collectées**

Le traitement des données recueillis (par infiltration, évaporation et pluviométriques) seront traités par la méthode de ANOVA. L'ANOVA est une analyse de la variance qui permet de montrer l'influence d'une variable qualitative appelée variable indépendante sur une variable dépendante (quantitative) avec un seuil de Significativité de 95%. Il sera fait à l'aide du logiciel IBM SPSS Statistique Vie.

#### 4.2.8 Analyse des eaux collectées

Pour un meilleur choix du matériau, il serait intéressant de connaître les effets secondaires de nos revêtements sur les eaux collectées. Pour ce faire, une analyse des eaux contenues dans les bassins a été entreprise. Des échantillons d'eau du barrage, de deux bassins d'argile, de deux bassins de bitume et deux bassins de plastique ont été analysés au laboratoire de Ouaga et fait l'objet de plusieurs expériences à savoir : l'analyse physico-chimique et l'analyse microbiologique et la détermination des métaux lourds.

##### 4.2.8.1 Analyse Physico-chimique

L'analyse Physico-chimique consiste à effectuer différents essais dans le but d'analyser les eaux contenues dans les micros bassins. Pour se faire, les paramètres physiques in situ tels que le pH, la conductivité électrique, l'oxygène dissout et la température de ces eaux ont été déterminés à l'aide de sondes spécifiques. Ces eaux ont été soumises à d'autres essais pour déterminer :

- **Par titrimétrie** : Le Titre Alcalimétrique TA, le Titre Alcalimétrique Complet TAC, la dureté totale ou Titre Hydrotimétrique TH, la dureté calcique Tca, les ions chlorures
- **Par spectrophotométrie** : Les ions nitrites ; nitrates, sulfates et phosphates
- **La Demande Biologique en Oxygène (DBO<sub>5</sub>)**
- **La Demande Chimique en Oxygène (DCO)**

##### 4.2.8.2 Analyse microbiologique

La microbiologie est l'étude d'organismes trop petits pour être vus à l'œil nu, les micro-organismes. Elle a pour but de déterminer les polluants ou micro-organismes indicateurs de contamination fécale dans les eaux des BCER. Pour nous, il s'agira d'identifier 04 types de bactéries : Les *E.coli*, les coliformes totaux, les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux.

##### 4.2.8.3 La détermination des métaux lourds

Les "métaux lourds" ou éléments traces métalliques (ETM) sont des éléments métalliques naturels, caractérisés par une masse volumique élevée, supérieure à 5 grammes par cm<sup>3</sup>. Ils sont toxiques non seulement à cause de leur non-dégradabilité, de leur toxicité à faible concentration et de leur tendance à s'accumuler dans les organismes vivants. La détermination des métaux lourds ont été déterminés par spectromètre à absorption atomique.



*Figure 21 : Analyses physico-chimique et microbiologique*

## V. RESULTATS ET DISCUSSION

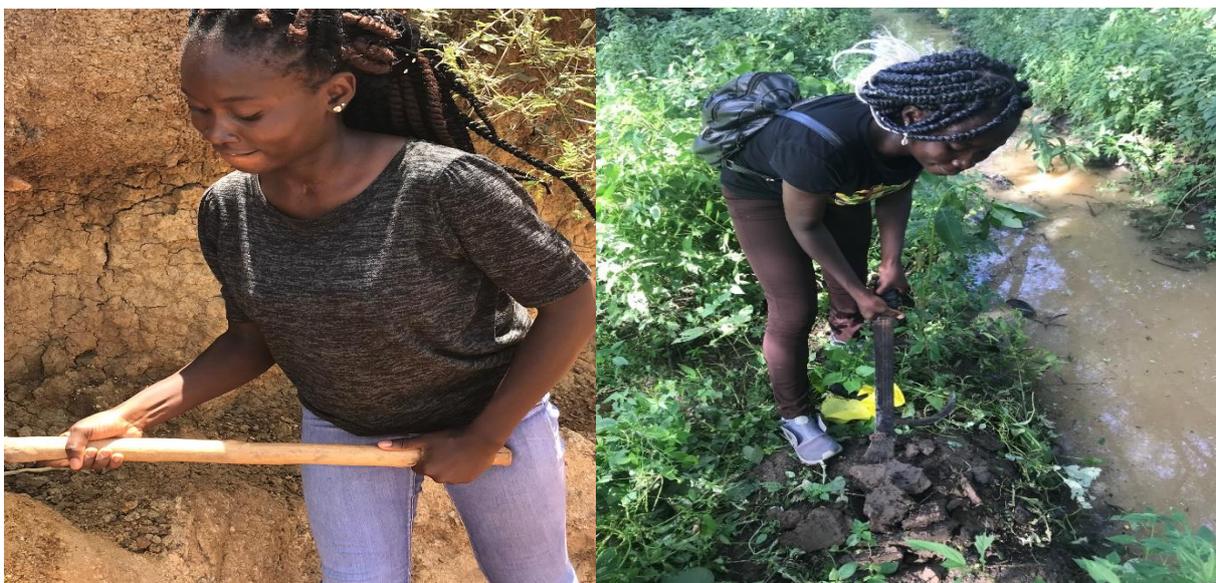
---

### 5.1 Etude de prix

#### 5.1.1 Détermination des points de vente des revêtements

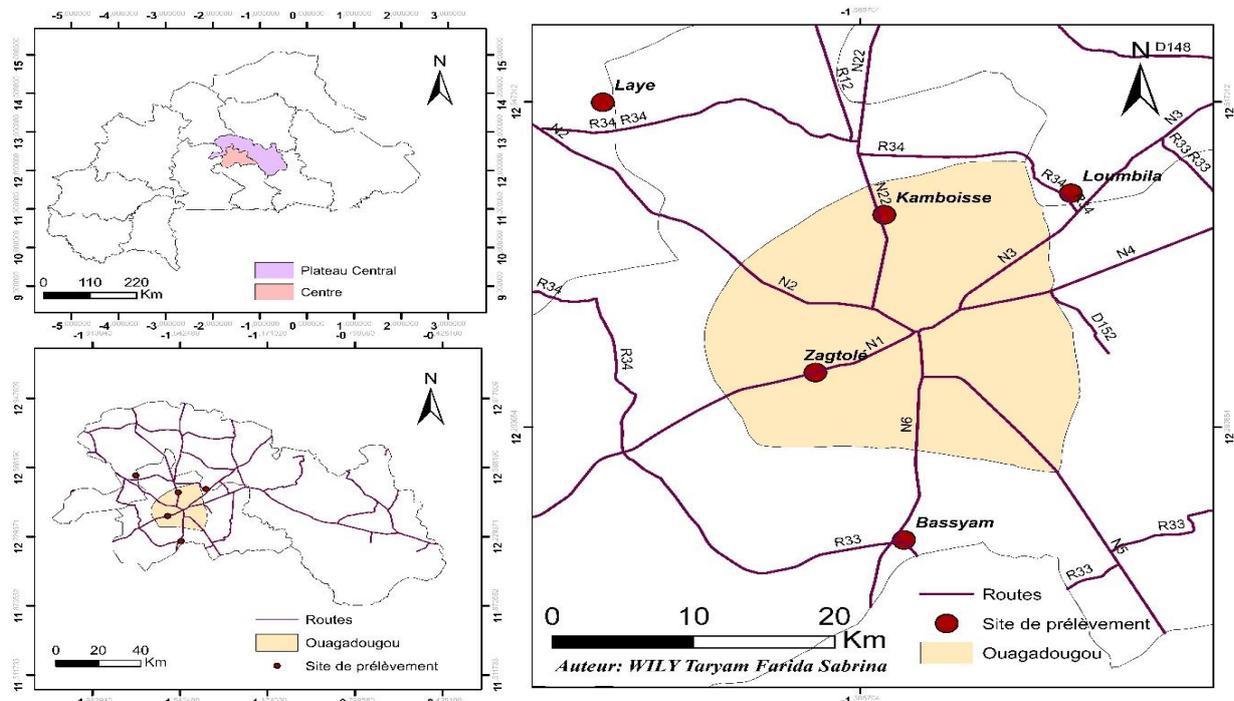
Dans le cadre de notre étude, on a mené plusieurs enquêtes afin de déterminer le type de revêtement d'imperméabilisation le plus disponible parmi le film plastique, le bitume et l'argile dans la ville de Ouagadougou. Ces enquêtes réalisées en Aout 2019, consistaient d'abord à rechercher dans la capitale du Burkina Faso, des points de vente des différents matériaux (argile, plastique et bitume). Ces enquêtes se sont effectuées plusieurs quartiers tels que Kamboisse, Tampui, Kalgondin, Riemkieta, Koulouba, Nioko2, 1200 logements, Goughin, Larlé, Zogona, Wemtinga, Zagtolé, Ouaga 200, Pissy, Kamsontenga Bassinko, Sanba, Karpala...

Une fois les points de vente localisés, une seconde enquête consistait (en Septembre 2019) à repartir sur ces différents points, à identifier le type de matériau utilisé et à y prélever/ acheter des échantillons. Lors de cette deuxième enquête on a rencontré d'énormes difficultés pour les échantillons de l'argile car la plupart des vendeurs d'argile n'en disposaient pas sur place. Ils vendaient l'argile en quantité énorme et sur commande, pas en petite quantité pour nous permettre d'effectuer une étude. Cela nous a poussé à connaître la provenance de l'argile, ce qui nous a permis de savoir que les grands fournisseurs d'argile de Ouagadougou proviennent principalement de Bassyam, de Loumbila et de Laye.



*Figure 22 : Prélèvement des échantillons d'argile*

Outre ces 03 zones, nous avons pu identifier de l'argile à Zagtolé et à Kamboisse. En effet avec la saison pluvieuse, l'accès aux différents sites étaient devenu quasi-inaccessible. Nous avons cependant eu la chance de visiter, durant le mois d'Octobre, 03 sites de prélèvement d'argile, à savoir celui de Loumbila, de Laye et de Kamboisse. Les sites de prélèvements sont présentés sur la carte suivante :



**Figure 23 : Sites de prélèvement d'argile à Ouagadougou**

Au terme de ces enquêtes, nous pouvons affirmer que le plastique est le matériau le plus disponible sur le marché de Ouagadougou. En effet le plastique étant utilisé pour divers usages, il est vendu dans les boutiques, dans les marchés, dans les quincailleries et même par des marchands ambulants.

Après le plastique, le bitume est au second rang de notre classement. Le bitume contrairement au plastique se rencontre à Ouagadougou dans les grandes quincailleries et dans les points de vente de plomberie et de matériaux de construction.

Pour finir, l'argile est le matériau le moins disponible dans la ville de Ouagadougou, par rapports aux enquêtes menées. En effet l'argile se vend principalement dans les zones de construction récemment aménagées pour la population.

### 5.1.2 Prix de vente des revêtements

Au vu de la difficulté de trouver des points de vente d'argile au centre-ville, son étude de prix s'est faite dans les quartiers nouvellement lotis tels que les alentours de l'hôpital Blaise Compaoré sur la route national N°6, Bassinko sur la route national N°2, Saaba sur la route national N°4, Karpala sur la route national N°5. L'étude de prix du plastique, elle, a pu se faire un peu partout à Ouagadougou. Tandis que celle du bitume a pu se réaliser dans les quartiers de Kalgondin, Koulouba, Goughin, Larlé, Nonsin, Zogona, Kamboisse, Larlé, Zogona, 1200 logements et Wemtenga.

Nous retenons à partir des résultats de l'enquête établie sur l'argile, que son prix de vente à Ouagadougou est très variable. Vendue plutôt par charrette son prix est compris entre 4.000FCFA et 5.500FCFA. Le bitume, lui, se vend par sac de 20kg et a son prix de vente compris entre 16.000 FCFA et 24.500 FCFA. Le film plastique est vendu à un prix constant et est compris entre 400FCFA et 500FCFA le m<sup>2</sup> selon la qualité du matériau.

Les résultats obtenus lors des enquêtes effectuées dans la période de Septembre-Octobre 2019 nous ont permis d'obtenir une moyenne générale du prix de vente des différents types de revêtement résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 1 : Prix de Vente moyen des différents types de revêtements**

Récapitulatif des Prix de Vente (PV) des matériaux			
Type	Argile	Plastique	Bitume
Unité	Charrette	m <sup>2</sup>	Sac de 20Kg
PV	4725	446,15	18941,18

Le prix moyen de vente des différents matériaux est de 4.750F CFA la charrette pour l'argile, 450F CFA le m<sup>2</sup> de plastique et 18.950 F CFA le sac de 20Kg de bitume. Pour la réalisation d'un des micro-bassin du dispositif expérimental, les prix estimés étaient de 03 charrettes d'argile, 03 sacs de bitume et de 20m<sup>2</sup> pour le plastique. En se basant sur ce nombre, le prix de ces différents revêtements pour le même type de micro-bassin s'évalue à 14.175 F CFA pour l'argile, 8.925 F CFA pour le plastique et à 56.825 F CFA pour le bitume. Ces valeurs montrent que le revêtement en film plastique revient le moins chers des trois.

En se basant sur le prix global d'un même type de revêtement pour des bassins identiques, on peut émettre l'hypothèse que le film plastique dont le prix moyen du m<sup>2</sup> est de 450F CFA est le type de revêtement le moins chers sur le marché de Ouagadougou. Après le plastique, nous avons l'argile est en second plan avec un prix moyen de 4725 F CFA par charrette. Le

revêtement bitumineux paraît être le plus cher car son sac de 20kg se vend à un prix moyen de 18.950 F CFA.

## 5.2 Etude des différents matériaux

### 5.2.1 Etude du type d'argile rencontré à Ouagadougou

Afin de connaître la qualité de l'argile rencontré à Ouagadougou, les échantillons prélevés ont été traités en laboratoire



**Figure 24 : Echantillons d'argile prélevés**

#### 5.2.1.1 Densités apparentes des échantillons d'argile

Les différentes valeurs des densités apparentes déterminées par la méthode de la bougie sont citées et présentées ci-dessous :

**Tableau 2 : Densité apparente par site de prélèvement**

Site	Loumbila	Revendeur	Bassyam	Pissy	Kamboinse	Laye
Da (g/cm)	19,63	18,62	17,22	16,49	18,87	16,32

On remarque à partir de ces résultats que la densité apparente des échantillons d'argile prélevés suite à nos enquêtes varie entre 16 et 20 (g/cm). Avec un écart de 4g/cm environs, l'échantillon de Loumbila présente la densité la plus élevée et celui de Laye la plus faible.

#### 5.2.1.2 Analyse granulométrique de l'argile

Au vu de la ressemblance de nos échantillons, on a opté d'en choisir seulement 02 pour l'étude granulométrique. Ceux de Bassyam (Essai 1) et de Loumbila (Essai 2) ont été étudiés.

Avec une masse sèche initiale de **1662,74g** ; les résultats de l'essai 1 nous ont permis de déterminer la proportion de sable  $P_1 = (923,59 \div 1662,74) \times 100$ . Elle est de **55,54 %** et

supérieure à la moyenne. La masse sèche de **972,91g** de l'essai 2 nous a permis d'obtenir une proportion de sable  $P_2 = (604,5 \div 972,91) \times 100$ . Elle est de **62,13 %** et supérieure à la moyenne. Ces deux proportions permettront de mieux apprécier les humidités caractéristiques et facilitera la détermination du type de sol.

### 5.2.1.3 Détermination des humidités caractéristiques par la méthode de Richard

Avec les résultats des humidités pondérales obtenus par la marmite de Richard et la prise en compte des proportions données de l'étude granulométrique, nous avons pu obtenir les données suivantes sur le type de sol en nous servant du logiciel Spaw :

**Tableau 3 : Humidités caractéristiques et type d'argile**

Densité moyenne		Humidité pondérale		Humidité Volumétrique	Type de sol
Site	Da (g/cm)	Hcc (%)	Hpfp (%)	Hv (%)	
Loumbila	19,63	25,47	16	185,90	<b>Sableux-Argileux-Limoneux</b>
Bassyam	17,22	27,87	15,21	218,01	<b>Sableux-Argileux-Limoneux</b>

Les résultats des deux essais, sur les échantillons de Loumbila et de Bassyam étudiés au laboratoire montrent qu'ils sont de même type Sableux-Argileux-Limoneux.

Au terme de l'étude de nos deux échantillons, nous émettons l'hypothèse que l'argile rencontré à Ouagadougou n'est pas de l'argile pur, mais plutôt un mélange **Sableux-Argileux-Limoneux**.

## 5.2.2 Etude du bitume

Le bitume utilisé pour le revêtement des micros bassins est un bitume oxydé 110/30 de marque DURBITUME. Le bitume 110/30 est obtenu par insufflation d'air dans le bitume de pénétration à une température de +/- 220 °C.

### 5.2.2.1 Densité relative

La densité relative par la méthode hydrostatique nous a permis d'obtenir les résultats représentés par le tableau suivant :

**Tableau 4 : Densité relative du bitume**

Densité relative du bitume à 25°C		
N° du Pycnomètre	1	2
P1 = masse (Pycnomètre)	232,31	217,87
P2 = masse (pycnomètre + eau distillée)	653,86	543,01
P3 = masse (pycnomètre + bitume)	398,39	324,81
P4 = masse (pycnomètre + bitume + eau distillée)	656,43	545,78
Densité relative $d_r = \frac{P_3 - P_1}{(P_2 - P_1) - (P_4 - P_3)}$	1,016	1,026
<b>Densité relative moyenne</b>	<b>1,02</b>	

La densité relative du bitume utilisé a une densité relative moyenne de 1,02

### 5.2.2.2 Essai Bille-anneau

Les résultats donnés par l'essai du point de ramollissement bille et anneau sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 5 : Résultats de l'essai bille et anneau**

Point de ramollissement bille et anneau															
Heure	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
T °C	11,2	21,8	27	32,2	37,6	42,8	48,3	54,2	59,4	64,6	69,3	74,4	79,1	83,9	88,5
Anneau	A		86,5		B		87,2		Moyenne			86,85			

Ces résultats montrent que les billes A et B ont atteint leur ramollissement respectivement aux températures de 86,5°C et 87,2°C. Ce qui nous donne une température moyenne de ramollissement de 86,85°C.

### 5.2.2.3 Essai de pénétrabilité

L'essai de pénétrabilité nous a permis d'obtenir les résultats (en mm) du tableau ci-dessous :

**Tableau 6 : Résultats de l'essai de pénétrabilité**

Pénétrabilité à 25°C, 100g, 5s				
Coupelle A		Coupelle B		Moyenne
Essai 1	0,83	Essai 1	0,64	0,735
Essai 2	0,8	Essai 2	0,7	0,75
Essai 3	0,71	Essai 3	0,73	0,72
<b>Moyenne</b>				<b>0,735</b>

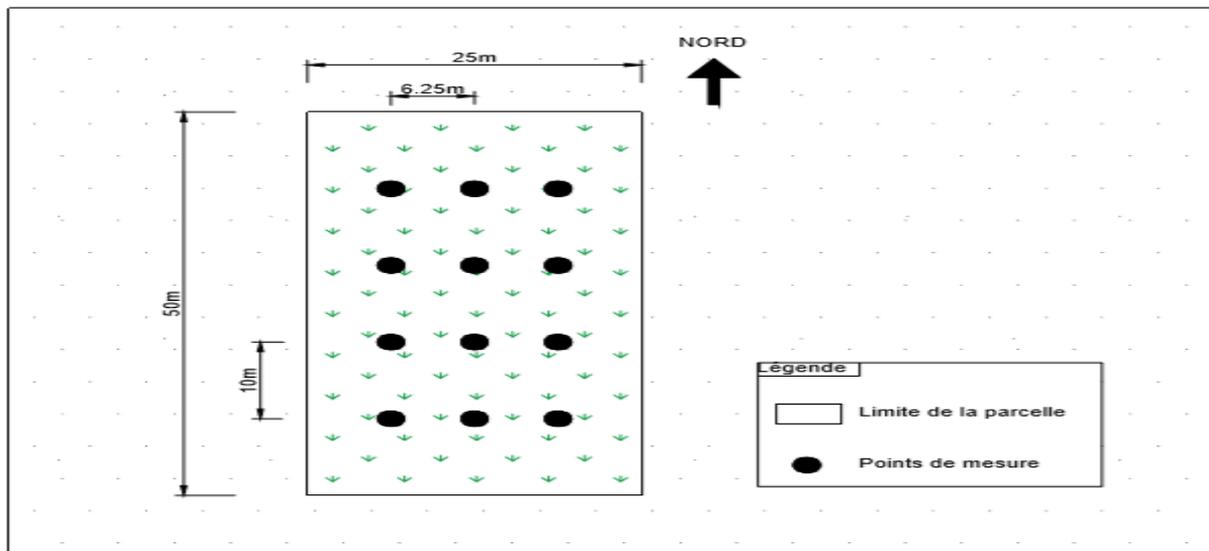
Le premier essai sur les deux coupelles nous a donné une pénétrabilité moyenne de 0,735mm ; le second 0,75mm et le troisième 0,72. Ces essais nous porte à croire que la pénétrabilité de notre bitume a une pénétrabilité de 0,735mm. En arrondissant ce résultat à 1mm, nous affirmons que  $1/10(mm)$  de notre résultat  $\in [10 - 20]$ .

Suites aux différentes opérations sur le bitume, et en se basant sur la classification du bitume selon la norme EN 1426 ; nous pouvons affirmer que notre bitume est un bitume dur. Notre bitume est de la classe 10/20, de densité relative 1,02 ayant un point de ramollissement de 86,85°C.

### 5.3 Etude du site initial

Avant tout travaux, une étude préalable du terrain est nécessaire. Pour se faire nous avons réalisé des mesures d'infiltration afin de déterminer le type de sol de la plate-forme d'irrigation, plus précisément du terrain aménagé pour la pisciculture, terrain qui était au départ notre site expérimental.

Pour mesurer l'infiltration du terrain de dimension 50\*25 nous avons opté de faire une étude comparative à sa surface et à la profondeur de nos bassins de collecte d'eau qui est de 1,5m. Pour ce faire nous avons opté de réaliser 12 essais d'infiltration. Nous avons choisi les points de mesures de ces essais selon la configuration ci-dessous et procédé par deux méthodes d'infiltration : le double anneau et l'essai de carrière.



**Figure 25 : Points de mesures d'infiltration**

### 5.3.1 La méthode du double-anneau

Les essais du double-anneaux se sont déroulés préalablement sur les 12 points représentés plus haut, puis sur 03 points supplémentaires en allant vers le barrage du côté Sud de la parcelle.

Les résultats du double anneau nous ont permis d'obtenir les Ksat suivants :

**Tableau 7 : Type de sol en surface**

Point	Ksat	Type de sol
P1	7,05288	Argileux- Limoneux
P2	3,94008	Argileux- Limoneux
P3	7,44776	Silteux-Argileux- Limoneux
P4	4,70401	Argileux- Limoneux
P5	9,56155	Sableux- Argileux- Limoneux
P6	10,9626	Sableux- Argileux- Limoneux
P7	6,38593	Argileux- Limoneux
P8	9,80857	Sableux-Argileux- Limoneux
P9	9,21955	Limoneux
P10	7,43929	Sableux- Limoneux
P11	25,646	Sableux- Limoneux
P12	8,80284	Sableux- Argileux- Limoneux

Ces différents résultats obtenus à partir du double-anneaux nous poussent à émettre l'hypothèse que le site porté à notre étude est de type Sableux-Argileux- Limoneux.

Les sols Sableux-Argileux-Limoneux en surface sont des sols très appréciés par les cultivateurs. Pour (Olivier, 2019) la présence de sable les rend facile à travailler, celle de limon montre qu'elle est riche et fertile. L'agile elle attribue à ces types de sol l'humidité l'eau et les minéraux nécessaires aux plantes.

### 5.3.2 L'essai de Porchet

Les essais de Porchet se sont déroulés sur les points de mesure de double-anneaux. Cependant la profondeur de 1,5m souhaitée n'a pas été atteinte mais les résultats d'infiltration obtenus sont les suivants :

**Tableau 8 : Type de sol en fonction de la profondeur atteinte**

Point	Profondeur atteinte (m)	Ksat	Type de sol
P1	1	39,9865	Limoneux
P2	1,05	81,2069	Sableux-limoneux
P3	1,08	39,7349	Silteux-limoneux
P4	1,16	23,4331	Limoneux
P5	1,1	10,9568	Limoneux
P6	1,15	65,0674	Silteux-limoneux
P7	1,27	68,8514	Silteux-limoneux
P8	1,24	59,0913	Silteux-limoneux
P9	1,21	49,9189	Sableux-limoneux
P10	1,28	1,60966	Sableux-argileux
P11	1,33	1,26981	Sableux-argileux
P12	1,4	0,647717	Sableux-argileux
P13	1,5	0,713548	Sableux-argileux
P14	1,5	0,427495	Sableux-argileux
P15	1,5	0,331034	Sableux-argileux

La profondeur de 1,5m des bassins fixés au départ pour l'essai de tarière n'a pas été atteinte sur les 12 points. Vu la progression des hauteurs vers le Sud, nous avons opté de faire 3 points supplémentaires dans la même direction pour une meilleure estimation de la nature du sol. Cela

nous laisse émettre l'hypothèse de la présence d'une roche sur le site expérimental prévu pour notre étude. La présence de cette roche augmente les pertes en eau et pourrait être à l'origine des grandeurs de  $K_{sat}$  constatés dans le tableau ci-dessus.

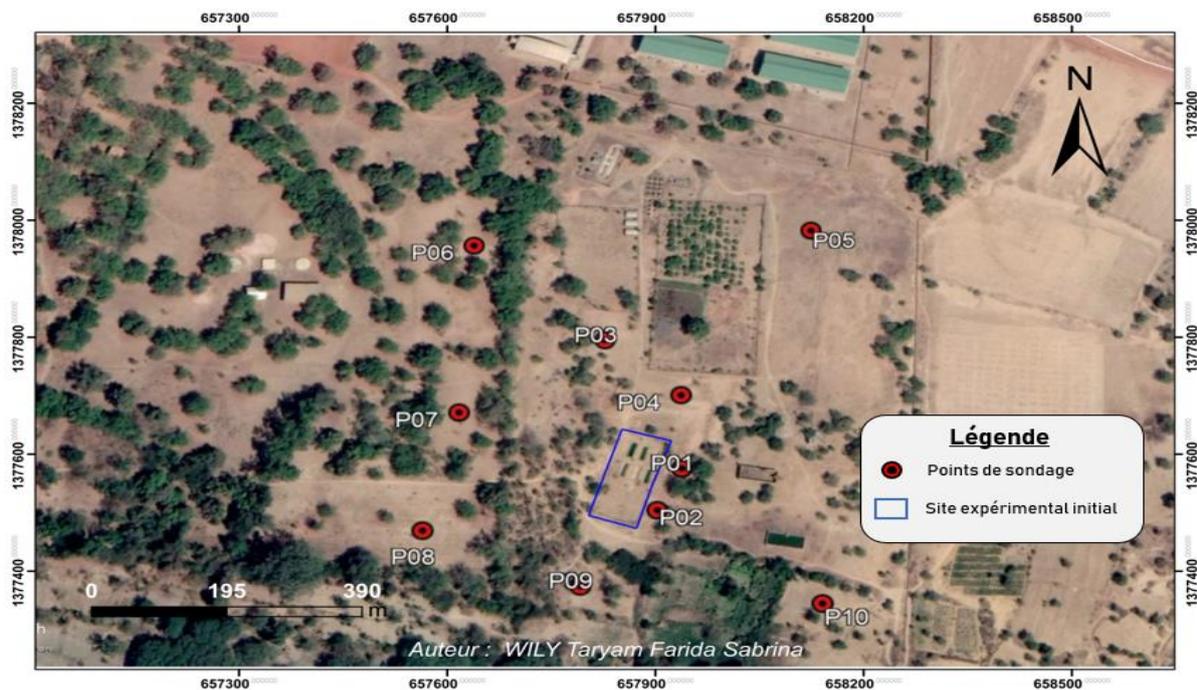
#### 5.4 Détermination du site d'expérimental

Le constat fait lors des mesures d'infiltration du terrain porte à croire que le terrain expérimental aménagé pour la pisciculture semble être au-dessus d'une roche qui nous empêche d'atteindre la profondeur souhaitée de 1m50. Afin d'atteindre la hauteur souhaitée au départ pour notre étude, un sondage a été fait sur la plateforme d'irrigation pour nous permettre de déterminer la zone favorable pour l'installation de nos bassins. Sur chaque zone de sondage, 06 points ont été soumis à l'essai de carrière pour une profondeur de 1m50. Au total, 10 sites ont été soumis à l'étude et la profondeur moyenne atteinte par site de sondage peut être résumé dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 9 : Différentes profondeurs atteintes lors du sondage**

Profondeur atteinte (m)										
Point	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10
Essai										
Essai 1	1,33	1,23	1,11	1,20	0,58	0,98	1,30	1,29	1,38	1,50
Essai 2	1,24	1,37	0,98	1,17	0,72	1,00	1,38	1,42	1,50	1,50
Essai 3	1,21	1,12	1,07	1,15	0,83	1,06	1,20	1,50	1,40	1,50
Essai 4	1,15	1,20	0,89	1,00	0,64	0,95	1,17	1,22	1,50	1,50
Essai 5	1,19	1,28	1,22	1,09	0,61	0,88	1,20	1,35	1,33	1,50
Essai 6	1,22	1,35	0,87	0,99	0,75	0,81	1,10	1,20	1,35	1,50
<b><i>h moyenne(m)</i></b>	<b>1,22</b>	<b>1,26</b>	<b>1,02</b>	<b>1,10</b>	<b>0,69</b>	<b>0,95</b>	<b>1,23</b>	<b>1,33</b>	<b>1,41</b>	<b>1,50</b>

Au seuil du désespoir, ce n'est qu'au 10ème essai qu'on a pu atteindre l'objectif fixé par le sondage. Ces essais sont représentés comme l'indique la figure ci-dessous :

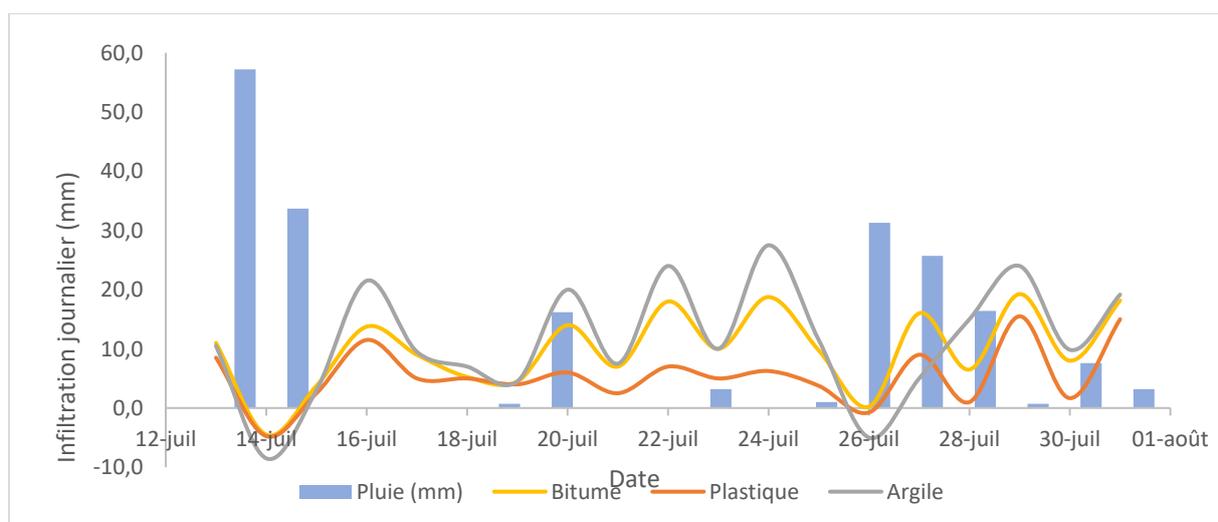


**Figure 26 : Différents points de sondage pour le choix du site**

L’hypothèse de la présence d’une roche sur la plateforme d’irrigation semble être réelle. En remontant vers le Nord, cette roche paraît se rapprocher de la surface terrestre. Elle semble cependant aller plus en profondeur en descendant vers le Sud.

### 5.5 Résultats des données expérimentales

Les données recueillies à partir du bac et de la station météorologique de Kamboinsse nous a permis de les intégrer aux données d’infiltration collectées. Les résultats obtenus nous ont permis d’obtenir le graphe ci-dessous :



**Figure 27 : Evolution de l’infiltration en fonction du type de revêtement**

Ce graphique montre une concordance sur les variations des différents revêtements. Les pluies ont un impact sur l'infiltration des eaux dans les BCER. Elles réduisent l'infiltration de l'eau dans le sol, elles minimisent donc les pertes en eau.

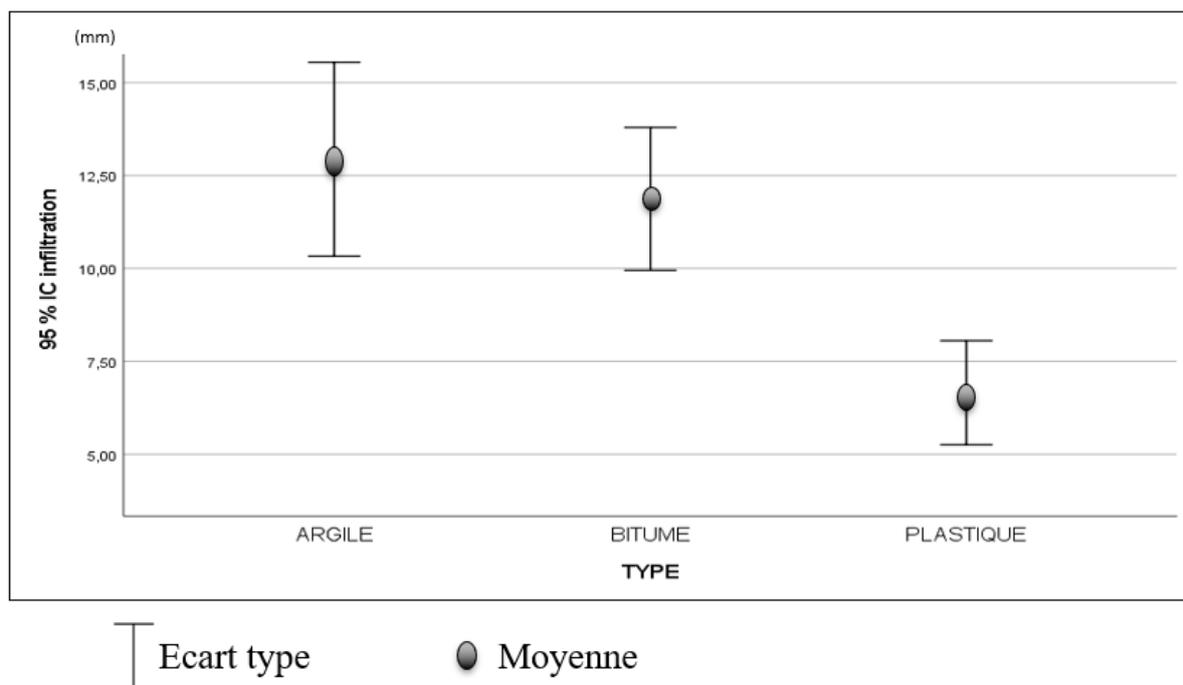
On constate que lorsqu'il pleut énormément, l'infiltration est minimale au niveau des bassins argileux tandis que les bassins revêtus en film plastique minimise les pertes en eau le reste du temps. On émet une première hypothèse selon laquelle les BCER argileux reçoivent une eau extérieure lorsqu'il pleut et transfèrent l'eau qu'ils contiennent lorsqu'il ne pleut pas. Il y'a transfert d'eau permanent entre les parois, ce qui fait de l'argile le matériau le moins perméable. La deuxième hypothèse se base sur la première pour qualifier le plastique comme matériau le plus imperméable car il semble minimiser l'infiltration au fil du temps. Le bitume, lui qui semble empêcher le transfert d'eau du sol vers le bassin par les parois serait en deuxième position.

### 5.5.1 Moyenne et écart-type

**Tableau 10 : Moyenne et écart-type des données d'infiltration en fonction du revêtement**

Type de revêtement	Moyenne	Ecart-type
Bitume	12,03	5,75
Plastique	6,72	4,24
Argile	13,08	7,89

Ces résultats peuvent être représentés par la figure ci-dessous :



**Figure 28 : Diagramme montrant l'intervalle de confiance à 95%**

On remarque à l'issue des tests que la moyenne d'infiltration du plastique se situe au tour de 7% tandis que celui du bitume et du plastique se situent respectivement autour de 12% et 13%.

### 5.5.2 Normalité des données

D'après le théorème central limite, le nombre d'échantillons étant supérieurs à 30, les données suivent une loi normale. De plus les mesures sont réalisées indépendamment les uns des autres.

### 5.5.3 Test de ANOVA

Nous avons donc réalisé une ANOVA avec les caractéristiques suivantes :

- Variable dépendante : l'infiltration
- Variable indépendante : le revêtement
- Hypothèse nulle  $H_0$  : l'infiltration ne varie pas en fonction du type de revêtement
- Seuil de significativité : 0,05

**Tableau 11 : Moyenne d'infiltration par la méthode d'ANOVA**

ANOVA					
Infiltration					
	Somme des carrés	ddl	Carré moyen	F	Sig.
Intergroupes	808,585	2	404,293	2,476	<b>0,089</b>
Intragroupes	16656,605	102	163,300		
Total	17465,190	104			

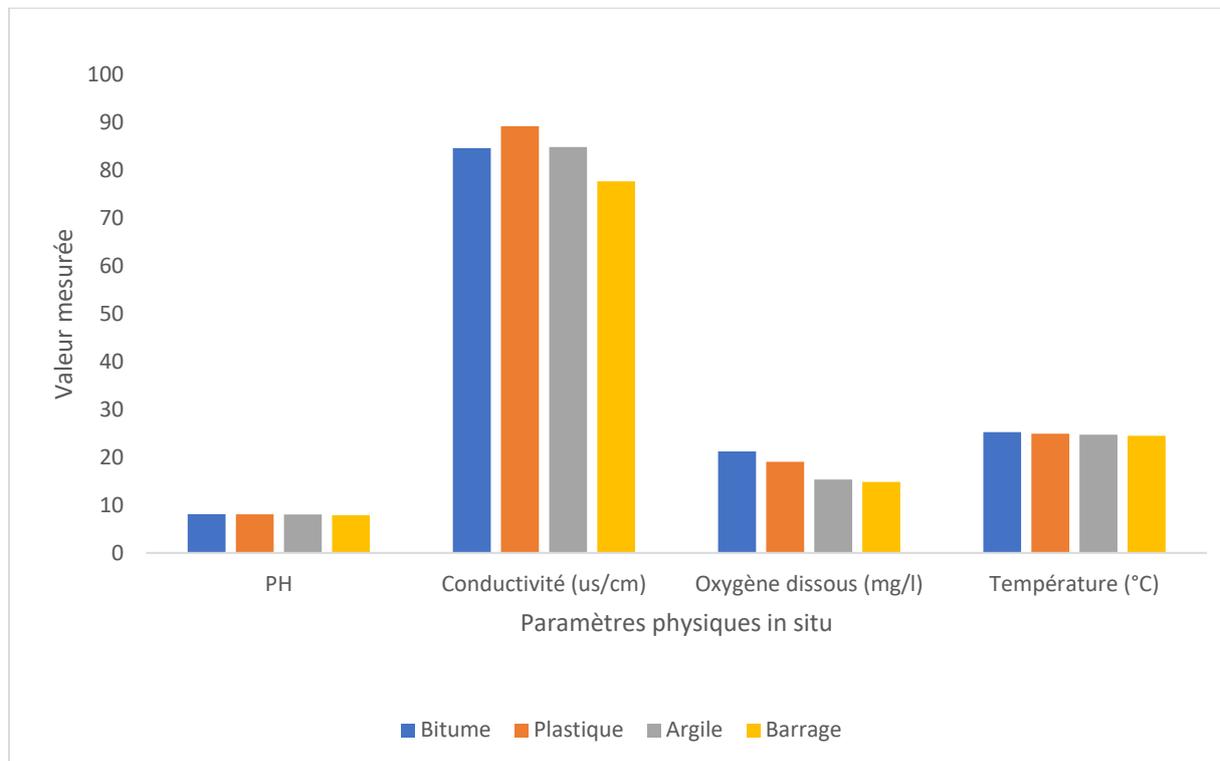
Les résultats de SPSS obtenus par la méthode de ANOVA nous donnent un seuil de significativité de  $0,089 > 0,05$ . Le seuil de significativité étant supérieur à 0,05 ; on peut donc dire que les variances des groupes ne sont pas significativement différentes autrement dit on ne peut pas affirmer avec certitude que l'infiltration diffère selon la nature du revêtement.

Bien qu'il semble que le plastique soit le plus imperméable des trois au niveau de la figure 29, les données statistiques ne permettent de le confirmer avec certitude. Il faudrait envisager de faire les essais sur un plus grand nombre de bassins pour l'affirmer ou pas.

## 5.6 Analyse de l'eau

### 5.6.1 Physico-chimique

Les résultats physico-chimiques sont résumés dans le graphe ci-dessous :



**Figure 29 : Paramètres physiques in situ des eaux collectées**

On remarque que les revêtements n'ont aucune influence sur la température et le PH mais tendent à augmenter l'oxygène dissoute et la conductivité de l'eau du barrage. Cela s'explique par la composition d'ions Oxygènes du bitume et du plastique.

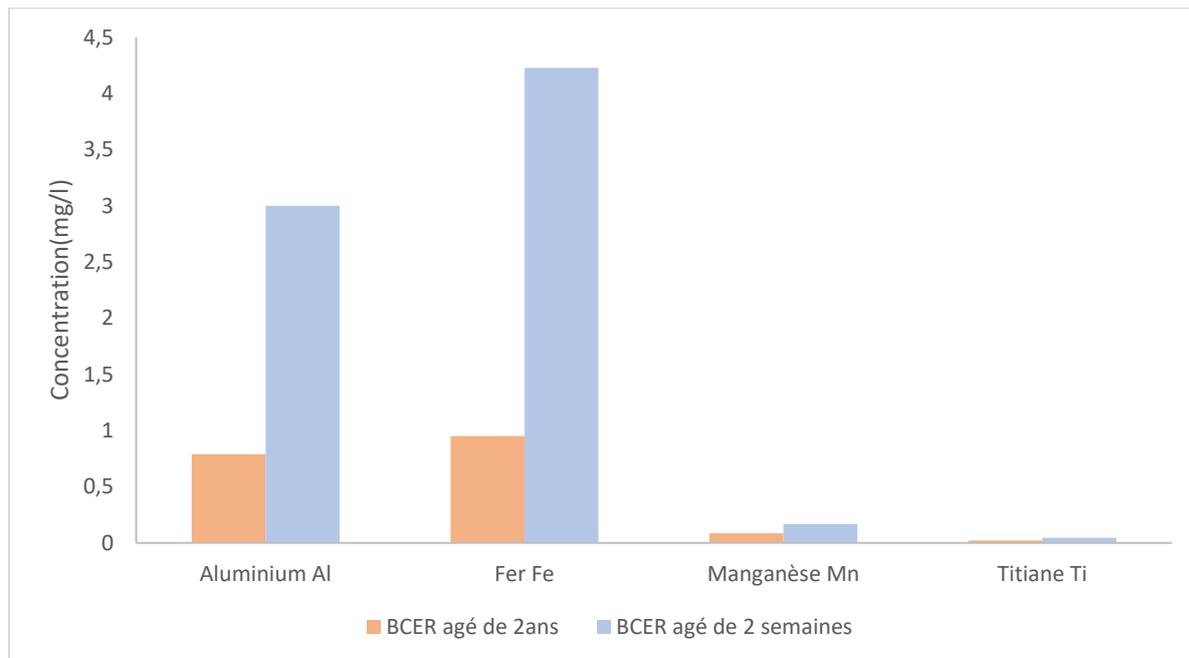
### 5.6.2 Dureté de l'eau

Les données obtenues par titrimétrie nous ont permis de déterminer les ions  $Mg^+$  et  $Ca^{2+}$  qui nous ont permis d'établir la dureté totale.

Les calculs obtenus par rapport à la dureté de l'eau se situent entre 11 et 14. Ces résultats qui sont situés dans l'intervalle [7 – 15] nous montre non seulement que l'eau contenue dans le barrage mais aussi que celle contenue par les bassins est douce.

### 5.6.3 Métaux lourds

Dans le cadre du projet CRDI, des échantillons d'eaux de BCER de plusieurs localités ont été analysé pour déterminer leur composition en métaux lourds. Parmi eux, des échantillons d'eaux de 02 BCER bitumineux de Kamboisse ont été analysées dans le but de déterminer la quantité des métaux lourds qu'elles contiennent. L'un était âgé de 2 ans et le second de 2 semaines.



**Figure 30 : Analyse des résultats des métaux lourds**

Les résultats ont révélé la présence de quelques métaux : l'Aluminium (Al), le Fer (Fe), le Manganèse (Mn) et le Titane (Ti). A travers ces résultats, on remarque qu'un nouveau BCER revêtu de bitume (celui de 2 semaines) contient : l'Aluminium (Al), le Fer (Fe), le Manganèse (Mn) et le Titane (Ti). Cependant au fil du temps leur taux contenu dans les eaux de collecte baisse considérablement. Néanmoins les mêmes proportions de métaux lourds rencontrés dans le nouveau bassin bitumineux sont susceptibles d'être rencontrés dans les BCER non imperméabilisés.

Au terme de l'analyse des eaux au laboratoire, nous sommes heureux de constater que les différents revêtements ne présentent aucun danger pour les eaux collectées.

## VI. ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL

### 6.1 Identification et évaluation des impacts

Comme toute action de l'homme, la réalisation des BCER et leur revêtement provoquent des impacts sur l'environnement. L'identification et l'évaluation de ces impacts sera faite à l'aide de la matrice de Léopold qui met en relation les activités sources d'impacts et les composantes de l'environnement.

**Tableau 12 : Matrice de Léopold-Evaluation des impacts négatifs**

Phases du projet	Activités sources d'impacts	Impacts négatifs	Description de l'impact	Milieu Récepteur										
				Milieu biophysique					Milieu socio-économique					
				Faune	Flore	Eau	Air	Sol	Santé et sécurité	Economie	Culture	Emploi		
Avant le BCER	-	Mauvaise récolte	Rendement faible, due à la pauvreté du sol											
	-	Difficulté pour l'élevage												
	-	Mortalité de certaines espèces végétale												
	-	Chômage												
Prospection	Etudes et aménagements préliminaires	Risques de déforestation	Décapage et fouilles au niveau de la zone de projet les travaux de terrain											
Réalisation	Amenée et repli du matériel du chantier (pelles, brouettes, ...)	Pollutions atmosphériques due au levé de poussière	Nettoyage et défrichage de surface											
	Fouilles de fondation, construction des bassins		Creusage des bassins											

	Pose du revêtement en plastique	-	-									
	Pose du revêtement en Bitume	Risque de brulure	Chaleur dégagée par le bitume									
	Pose du revêtement en argile	-	-									
Exploitation	Contamination par des substances extérieures	Pollution des eaux	Contamination intrusion dans le réseau d'agents infectants présent dans l'air ou due à l'incivisme des habitants.									

Tableau 13 : Matrice de Léopold – Evaluation des impacts positifs

Description de l'impact	Appréciation de l'impact	Milieu Récepteur										
		Milieu biophysique					Milieu socio-économique					
		Faune	Flore	Eaux	Air	Sol	Santé et sécurité	Economie	Culture	Emploi		
- Renforcement des compétences techniques et l'expertise des bureaux d'études impliqués.	Impact positif, majeur et temporaire.											



<ul style="list-style-type: none"> <li>- Développement de l'élevage ;</li> <li>- Croissance de la production agricole en quantité et en qualité ;</li> <li>- Renforcement de la pratique d'une hygiène corporelle et alimentaire convenables du fait de la disponibilité de l'eau.</li> </ul>	<p>Impact bénéfique, permanent, majeur et de portée locale.</p>								
---	---	--	--	--	--	--	--	--	--

## 6.2 Plan de Gestion Environnementale et Sociale (PGES)

 ▪ **Mesures d'atténuation des impacts négatifs**
**Tableau : Mesures d'atténuation des impacts négatifs**

Domaines d'application	Mesures d'atténuation
Sécurité	- Port obligatoire des E.P.I - Nettoyage des surfaces avant et après travaux - Baliser les zones de travail
Installations des chantiers des ouvrages d'assainissement	- Gestion des déchets solides par la mise en place de réceptacles pour les recevoir - Remise en état de tous sites en fin de travaux.
Qualité de l'air	- Arrosage systématique de la piste d'accès ; - Contrôle et visite technique des véhicules à moteur (pour pose du bitume).
Santé publique	- Approvisionnement de la main d'œuvre en eau potable ; - Mise en place d'un plan de surveillance médicale et d'information du personnel sur les IST et le VIH/SIDA ;
Végétation naturelle	- Enlèvement de tous les déchets végétaux et évacuation vers des zones pour brûlures - Réalisation de plantations d'embellissement et d'ombrage sur les sites concernés en vue de compenser les déboisements consécutifs aux travaux.

 ▪ **Mesures de bonification des impacts positifs**

Afin d'améliorer les impacts positifs et d'amplifier les avantages socio-économiques et sanitaires qu'ils occasionnent, plusieurs mesures de bonifications seront suggérées. Parmi celles-ci, nous avons :

- La multiplication des campagnes de promotion d'hygiène afin de déclencher des changements de comportements qualitatifs des populations bénéficiaires en matière d'habitudes hygiéniques.
- La sensibilisation des populations par des messages développés sur les changements de comportements et d'attitudes en matière de consommation d'eau et une bonne gestion de la ressource.

## VII. CONCLUSION- PERSPECTIVES

---

L'étude comparative de solutions de revêtements imperméables de BCER visait à évaluer un type de revêtement pour l'imperméabilisation des bassins, à la fois efficace, accessible aux paysans et durable. Les types de revêtements retenus étant l'argile, le bitume et le plastique ; il s'agissait de les analyser sur plusieurs plans. La démarche expérimentale adoptée consistait à débiter par une étude de prix pour identifier leur coût et leur disponibilité sur le marché, dans la ville de Ouagadougou. Suite à cela, il s'agissait d'étudier les différents matériaux pour déterminer leurs caractéristiques. Des essais devaient être réalisés sur des micro-bassins conformes aux BCER et revêtus de plastique, d'argile ou de bitume afin d'estimer leur infiltration au fil du temps en tenant compte de certains facteurs tels que la pluviométrie et l'évaporation. Enfin cette étude ne pouvait s'achever sans relater l'impact des différents matériaux utilisés sur les eaux collectées.

Les résultats des enquêtes de Septembre 2019 concernant la disponibilité et le prix des matériaux montrent que l'argile est généralement rencontrée hors de Ouagadougou, quelques fois dans les zones non-lotis à des prix allant de 4000FCFA et 5500FCFA la charrette. Le bitume lui est généralement rencontré dans les grandes quincailleries et son sac de 20kg coûte entre 16 000FCFA et 24500FCFA. Le plastique lui, se vend partout et à un coût relativement bas, prix compris entre 400FCFA et 500FCFA le mètre. L'argile rencontrée lors de nos recherches nous laisse croire que le type d'argile rencontrée à Ouagadougou est un mélange Sableux-Argileux-Limoneux de densité variable entre 16 et 20 (g/cm). Le bitume utilisé pour l'étude est un bitume oxydé, qu'on a pu qualifier de bitume dur à l'issue des essais bille-anneau et de pénétrabilité. Le plastique utilisé lui se présente sous forme de bâche. La collecte de données sur les BCER a été retardée par la détermination du site. En effet avec le sondage effectué, on a émis l'hypothèse de la présence d'une roche sur la plateforme d'irrigation.

Bien qu'on ne peut pas l'affirmer statistiquement, les mesures d'infiltration laissent paraître que le plastique est le revêtement le plus imperméable, suivi du bitume. Cependant bien que pouvant être parfois mal installé, le bitume est beaucoup plus durable que le plastique. L'argile présentant le plus de pertes par infiltration, est également plus durable que le plastique. Néanmoins, le plastique étant partout et à la portée de tous par son coût relativement bas, il semble être le matériau adapté comme revêtement des BCER à but agricoles pour les paysans.

## VIII. RECOMMANDATIONS

---

Les BCER sont de plus en plus utilisés et appréciés au Burkina Faso. Ils sont développés pour un but agricole dans quelques provinces du Burkina telles que le Passoré, le Bam et le Yatenga. Le plastique bien qu'il soit le plus imperméable des trois à l'issue des essais durant notre étude, les données statistiques ne permettent pas d'affirmer son imperméabilité avec certitude. Il faudrait envisager des essais sur un plus grand nombre de bassins pour le confirmer.

L'argile étant durable et moyennant à la portée du paysan, on pourrait également envisager une combinaison plastique-argile pour améliorer l'aspect durabilité

Le plastique, qui semble être le revêtement approprié pour ce but, devrait faire l'objet d'autres essais approfondis. En effet au vu de sa longue durée de vie, de son existence sous plusieurs formes et à des épaisseurs différentes ; on pourrait adapter un type de plastique comme revêtement durable.

**Bibliographie**

« 5-essais-identification\_sols.pdf ». s. d. Consulté le 6 septembre 2020.  
[http://www.guyane.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/5-essais-identification\\_sols.pdf](http://www.guyane.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/5-essais-identification_sols.pdf).

« 5426F.pdf ». s. d. Consulté le 28 août 2020. <http://dune.univ-angers.fr/fichiers/20073109/2016PPHA5426/fichier/5426F.pdf>.

Atoumane. 2017. « Caractéristiques de différents types de sol, du sable à l'argile ». 2017.  
<https://www.vaderstad.com/fr/savoir-faire/bases-agronomiques/les-bases-du-sol/caracteristiques-des-differents-types-de-sol/>.

Charles. 2015. « Essai bille anneau - WikiTP.fr ». 2015. <https://www.wikitp.fr/classement-des-bitumes/essai-bille-anneau>.

———. 2019. « Essai de pénétrabilité - WikiTP.fr ». 2019. <https://www.wikitp.fr/classement-des-bitumes/qualite-du-bitume>.

Diarra, Abdoulaye, Bruno Barbier, et Hama Yacouba. 2013. « Adaptation of Sahelian agriculture to climate change: A stochastic modeling approach ». *Sécheresse* 24 (1): 57-63.  
<https://doi.org/10.1684/sec.2013.0371>.

DOTO. 2016. « L'IRRIGATION DE COMPLEMENT A PARTIR DE PETITS BASSINS INDIVIDUELS EN ZONE SAHELIEUNE BURKINABE : IMPACT SUR LA PRODUCTION DES EXPLOITATIONS AGRICOLES FAMILIALES », 199.

« Durabilité - Argex ». s. d. Consulté le 1 septembre 2020.  
<https://www.argex.eu/fr/fr/home/durabilite.html>.

Eurobitume. 2017. « Durabilité ». 2017. <https://www.eurobitume.eu/fr/bitume/durabilite/>.

« Familles-de-plastiques-et-usages.pdf ». s. d. Consulté le 29 août 2020.  
<http://www.septiemecontinent.com/pedagogie/wp-content/uploads/2014/11/Familles-de-plastiques-et-usages.pdf>.

« introduction-aux-bitumes-s-trudeau.pdf ». s. d. Consulté le 27 août 2020.  
<http://www.bitumequebec.ca/wp-content/uploads/2015/06/introduction-aux-bitumes-s-trudeau.pdf>.

Kabore, Rosette. 2015. « HUMIDITES CARACTERISTIQUES ET RENDEMENTS DES SOLS DU SITE EXPERIMENTAL DE TOUGOU », 48.

Keita. 2019. « Irrigation par aspersion V2.32 ».

KEITA, Amadou, Dial NIANG, Maïmouna BOLOG, et Mahamadou KOITA. 2019.  
« Techniques d'imperméabilisation et de stabilisation - Partie 2 ».

Laldji, Said. 2013. « LES ENROBÉS BITUMINEUX ».

LAWANE, Abdou, Chaim DOTO, et Adamah MESSAN. 2019. « Étapes de la construction des BCER ».

« lesplastiquesendebat\_lemonteil.pdf ». s. d. Consulté le 29 août 2020.

[http://lemonteil.free.fr/dp/file/lesplastiquesendebat\\_lemonteil.pdf](http://lemonteil.free.fr/dp/file/lesplastiquesendebat_lemonteil.pdf).

NF EN 1426. 1999.

NF EN 1427. 2000.

Olivier. 2019. « Déterminer la texture de son sol : argileux, sableux, limoneux ». 2019.  
<https://www.promessedefleurs.com/conseil-plantes-jardin/ficheconseil/determiner-la-texture-de-son-sol-argileux-sableux-limoneux>.

Paré, Isabelle. 2018. « La planète plastique | Le Devoir ». 2018.  
<https://www.ledevoir.com/societe/environnement/525821/la-planete-plastique>.

« Quelles différences entre bitume, asphalte et goudron ? - Total.fr ». s. d. Consulté le 1 septembre 2020. <https://www.total.fr/pro/total-me-conseille/infrastructure/quelles-differences-entre-bitume-asphalte-goudron>.

Sarr, Moussa. 2003. « Etude du comportement des bitumes utilisés en enrobés denses au Sénégal », 107.

« Travaux routiers, exposition au goudron, au bitume : les risques pour la santé ont-ils changé ? | AtouSante ». s. d. Consulté le 1 septembre 2020.  
<https://www.atousante.com/risques-professionnels/cmr-cancerogenes-mutagenes-toxiques-reproduction/bitume/travaux-routiers-exposition-goudron/>.

Wikipedia. 2018. « Essai Porchet — Wikipédia ». 2018.  
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Essai\\_Porchet](https://fr.wikipedia.org/wiki/Essai_Porchet).

———. 2020. « Matière plastique ». In *Wikipédia*.  
[https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Mati%C3%A8re\\_plastique&oldid=171845958](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Mati%C3%A8re_plastique&oldid=171845958).

**ANNEXES**
**Annexe I : Résultats de l'étude de prix**

<b>Prix de Vente (PV) de l'argile</b>					
Nom du vendeur	Quartier	Coordonnées géographiques		Contact	PV par charrette (FCFA)
		Latitude N	Longitude O		
Souleymane OUEDRAOGO	Bissighin	12,406819	-1,617462	73841543/66923724	4700
Soumaila KABORE	Bassinko	12,416148	-1,640996	72403400	5500
Boureima SINARE	Bassinko	12,416160	-1,641013	78190921	5500
Aboubacar OUEDRAOGO	Rimkieta	12,395109	-1,553994	73202911/79096754	5600
Bassirou Wangrawa	Gardin	12,271415	-1,529932	78095757	4375
Paul SAWADOGO	Nioko II	12,423378	-1,466883	78627362	5000
Ouedraogo Boureima	Nagrin	12,292964	-1,529130	78857465	4375
Boureima	Nagrin	12,284885	-1,529374	76782427	4375
Rasmané	Kamboisse	12,435825	-1,549584	74476300	5000
Seydou	Kamboisse	12,433146	-1,549994	79403116	5000
Bernard Regtounda	Zagtolé	12,324053	-1,636321	78649600/70693640	4000
Albert	Zagtolé	12,323835	-1,639578	74071320	4000
Gaston	Gardin	12,274368	-1,521428	69687695	4000

Prix de Vente (PV) du bitume						
Nom	Quartier	Coordonnées géographiques		Contact	Type	PV/20kg (FCFA)
		Latitude N	Longitude O			
Samad	Kamboisse	12,419031	-1,552426	70491286 76414386	Caiman	20 000
ECOMAF	Ouaga 2000	12,311745	-1,489391	70787840	Caiman	19 000
Germain	Koulouba	12,363661	-1,524524	70483975	Caiman	18 000
Souleyman e	Koulouba	12,361511	-1,520785	78945330	Caiman Duranu	17 500 17 000
Drissa	Koulouba	12,361845	-1,523489	78201398	Caiman Duranu	21 500 20 000
Edi	Koulouba	13363906	-1,523994	78118080	Duranu	16 000
Bassim	Koulouba	12363940	-1,524005	58037777 71037777	Duranu	17 000
Ceni	Goughin	12,359331	-1,549494	78359391	Duranu	19 000
Souleyman e	Nonssin	12,374622	-1,546418	78919325	caiman	17 500
Issouf	Nonssin	12,374617	-1,546291	72388707 68536256	caiman	22 500
Madi KABRE	Larlé	12,374338	-1,539368	70241477	caiman	24 500

Adama SORE	Larlé	12,374346	-1,539348	70251480 76040875	Duranu	17 500
Rogref	Wemtenga	12,369273	-1,488606	70065746	caiman	19 000
Nana Moussa	Zogona	12,379088	-1,493454	79981014 71044239	Duranu	17 500
M KINDA	1200 logements	12,369953	-1,493897	70267091	Caiman/Duran u	21 000
Ousmane KINDA	1200 logements	12,373209	-1,493889	70783218	Duranu	18 500
Inoussa KABORE	1200 logements	12,342411	-1,506268	68243634	Caiman	18 000

<b>Prix de Vente (PV) du plastique</b>					
Nom du vendeur	Quartier	Coordonnées géographiques		Contact	PV/m <sup>3</sup> (FCFA)
		Latitude N	Longitude O		
Jean	Kamboisse	12444568	-1,54966		400/500
Samad	Kamboisse	12,343584	-1,505403	70491286/76414386	400/500
Emomaf	Ouaga 2000	12,311745	-1,489391	70787840/693030	400/500
Quin,EEMD	Goughin	12,359339	-1,549500	78/802307/70298775	400/500
Souleymane	Vers 10 yar	12,374622	-1,546418	78919325	400/500
Madi KABRE	Larlé	12,374338	-1,539368	70241477	400/500
A P B T E	Wemtinga	12,375323	-1,488398	70259632/78423161	400/500
Issa KABRE	Zogona	12,374360	-1,493626	52372661	400/500
Mme Ouédraogo	Zogona	12,374573	-1,493776	68146388	400
Nana Moussa	Zogona	12,379088	-1,493454	79981014/71044239	400/500
M KINDA	1200 logements	12,369953	-1,493897	70267091	400/500
Ousmane KINDA	1200 logements	12,373209	-1,493889	70783218	400/500
Adama SORE	Larlé	12,374346	-1,539348	70251480/76040875	400/500

**Annexe II : Résultats de l'analyse granulométrique**
**• Résultats de l'analyse granulométrique du prélèvement de Bassyam**

Opérateur : <i>WILY Taryam Farida Sabrina</i>			Norme opératoire : <i>NFP 18-560</i>			
Date : <i>23-oct-19</i>			Provenance : <i>Bassyam</i>			
			Poids initial sec (g) :		923,59	
Modules AFNOR	φ tamis mm	Refus partiels	Refus cumulés	% Refus cumulés	% Passants cumulés	Observations
41	10	0,00 g	0,00 g	0,000%	100,0%	
40	8	0,68 g	0,7	0,074%	99,93%	Graviers
39	6,3	7,74 g	8,4	0,912%	99,09%	
38	5	8,73 g	17,2	1,857%	98,14%	Sable
37	4	18,30 g	35,5	3,838%	96,16%	
36	3,15	26,74 g	62,2	6,734%	93,27%	
35	2,5	25,93 g	88,1	9,541%	90,46%	
34	2	42,87 g	131,0	14,183%	85,82%	
33	1,6	49,39 g	180,4	19,530%	80,47%	
32	1,25	71,28 g	251,7	27,248%	72,75%	
31	1	63,63 g	315,3	34,137%	65,86%	
30	0,8	50,49 g	365,8	39,604%	60,40%	
29	0,63	66,54 g	432,3	46,809%	53,19%	
28	0,5	55,75 g	488,1	52,845%	47,16%	
27	0,4	50,49 g	538,6	58,312%	41,69%	
26	0,315	62,25 g	600,8	65,052%	34,95%	
25	0,25	81,06 g	681,9	73,828%	26,17%	
24	0,2	45,65 g	727,5	78,771%	21,23%	
23	0,16	46,78 g	774,3	83,836%	16,16%	
22	0,125	33,52 g	807,8	87,465%	12,53%	
21	0,1	47,60 g	855,4	92,619%	7,38%	
20	0,08	24,19 g	879,6	95,238%	4,76%	

**• Résultats de l'analyse granulométrique du prélèvement de Loumbila**

WILY Taryam Farida Sabrina

Promotion 2019-2020

Septembre 2020

59

Opérateur : <i>WILY Taryam Farida Sabrina</i>			Norme opératoire : <i>NFP 18-560</i>			
Date : <i>23-oct-19</i>			Provenance : <i>Loumbila</i>			
			Poids initial sec (g) : <b>609,50</b>			
Modules AFNOR	φ tamis mm	Refus partiels	Refus cumulés	% Refus cumulés	% Passants cumulés	Observations
41	10	0,00 g	0,00 g	0,000%	100,0%	
40	8	1,13 g	1,1	0,185%	99,81%	Graviers
39	6,3	1,64 g	2,8	0,454%	99,55%	
38	5	4,38 g	7,2	1,173%	98,83%	Sable
37	4	3,84 g	11,0	1,803%	98,20%	
36	3,15	4,51 g	15,5	2,543%	97,46%	
35	2,5	3,40 g	18,9	3,101%	96,90%	
34	2	5,21 g	24,1	3,956%	96,04%	
33	1,6	4,98 g	29,1	4,773%	95,23%	
32	1,25	7,18 g	36,3	5,951%	94,05%	
31	1	7,59 g	43,9	7,196%	92,80%	
30	0,8	7,80 g	51,7	8,476%	91,52%	
29	0,63	13,74 g	65,4	10,730%	89,27%	
28	0,5	16,88 g	82,3	13,500%	86,50%	
27	0,4	17,76 g	100,0	16,413%	83,59%	
26	0,315	43,61 g	143,7	23,568%	76,43%	
25	0,25	76,91 g	220,6	36,187%	63,81%	
24	0,2	51,73 g	272,3	44,674%	55,33%	
23	0,16	84,58 g	356,9	58,551%	41,45%	
22	0,125	104,06 g	460,9	75,624%	24,38%	
21	0,1	81,15 g	542,1	88,938%	11,06%	
20	0,08	14,00 g	556,1	91,235%	8,76%	

**Annexe III : Calcul des humidités caractéristiques****Essai des échantillons de Bassyam**

N° de l'échantillon	Détermination de Hcc				Détermination de Hpfp			
	Poids		$\frac{(Mh-Ms)}{Ms}$	Hcc (%)	Poids		$\frac{(Mh-Ms)}{Ms}$	Hpfp (%)
	Humide (Mh)	Sec (Ms)			Humide (Mh)	Sec (Ms)		
1	35,70	27,94	0,28	27,77	31,40	27,41	0,15	14,56
2	39,50	30,87	0,28	27,96	32,80	28,40	0,15	15,49
3	35,60	27,99	0,27	27,19	32,00	27,93	0,15	14,57
4	38,80	30,59	0,27	26,84	38,40	33,69	0,14	13,98
5	44,30	34,53	0,28	28,29	35,40	30,71	0,15	15,27
6	37,50	29,25	0,28	28,21	29,50	25,84	0,14	14,16
7	36,10	28,13	0,28	28,33	31,40	27,52	0,14	14,10
8	40,60	31,56	0,29	28,64	33,30	28,81	0,16	15,58
9	41,70	32,40	0,29	28,70	30,40	26,50	0,15	14,72
10	40,00	30,75	0,30	30,08	29,00	25,36	0,14	14,35
11	36,80	28,79	0,28	27,82	33,90	28,76	0,18	17,87
12	33,20	26,06	0,27	27,40	30,30	26,06	0,16	16,27
13	38,20	29,99	0,27	27,38	30,30	26,13	0,16	15,96
14	36,30	28,22	0,29	28,63	29,00	24,94	0,16	16,28
15	39,00	30,43	0,28	28,16	31,50	26,99	0,17	16,71
16	33,20	25,94	0,28	27,99	29,90	27,71	0,08	7,90
17	34,80	27,27	0,28	27,61	34,90	29,64	0,18	17,75
18	36,90	28,85	0,28	27,90	31,00	26,63	0,16	16,41
19	37,30	29,23	0,28	27,61	31,10	26,64	0,17	16,74
20	38,00	29,80	0,28	27,52	26,90	23,21	0,16	15,90
21	33,10	25,93	0,28	27,65	26,40	23,05	0,15	14,53
22	33,80	26,43	0,28	27,88	24,80	21,47	0,16	15,51
23	34,30	26,87	0,28	27,65	27,20	23,55	0,15	15,50
24	36,20	28,37	0,28	27,60	29,40	25,22	0,17	16,57

25	31,10	24,25	0,28	28,25	27,70	24,44	0,13	13,34
26	34,70	27,14	0,28	27,86	31,20	26,94	0,16	15,81
27	31,00	24,37	0,27	27,21	26,70	23,23	0,15	14,94
28	32,60	25,59	0,27	27,39	29,80	25,90	0,15	15,06
29	33,50	26,23	0,28	27,72	27,80	23,77	0,17	16,95
30	34,80	27,42	0,27	26,91	30,10	26,49	0,14	13,63
Hcc moy (%)				27,87	Hpfp moy (%)			15,21

### Essai des échantillons de Loumbila

N° de l'échantillon	Détermination de Hcc				Détermination de Hpfp			
	Poids		$\frac{(Mh-Ms)}{Ms}$	Hcc (%)	Poids		$\frac{(Mh-Ms)}{Ms}$	Hpfp (%)
	Humide (Mh)	Sec (Ms)			Humide (Mh)	Sec (Ms)		
1	23,94	19,11	0,25	25,27	33,18	28,53	0,16	16,30
2	24,85	19,76	0,26	25,76	37,88	32,78	0,16	15,56
3	25,70	20,40	0,26	25,98	34,56	29,90	0,16	15,59
4	25,50	20,28	0,26	25,74	35,66	30,78	0,16	15,85
5	32,56	25,82	0,26	26,10	28,65	24,84	0,15	15,34
6	23,03	18,31	0,26	25,78	29,10	25,23	0,15	15,34
7	22,67	18,07	0,25	25,46	31,19	26,93	0,16	15,82
8	22,75	18,20	0,25	25,00	34,85	29,98	0,16	16,24
9	29,25	23,20	0,26	26,08	33,77	29,19	0,16	15,69
10	24,78	19,77	0,25	25,34	23,50	20,35	0,15	15,48
11	24,41	19,42	0,26	25,70	31,91	27,43	0,16	16,33
12	18,47	14,83	0,25	24,54	28,96	25,09	0,15	15,42
13	30,21	24,04	0,26	25,67	25,96	22,48	0,15	15,48
14	28,70	22,85	0,26	25,60	26,92	23,35	0,15	15,29
15	23,70	18,99	0,25	24,80	32,52	27,91	0,17	16,52
16	29,70	23,71	0,25	25,26	28,04	24,07	0,16	16,49
17	29,62	23,54	0,26	25,83	35,39	30,24	0,17	17,03
18	25,33	20,20	0,25	25,40	32,26	27,64	0,17	16,71

19	30,20	24,10	0,25	25,31	32,76	28,15	0,16	16,38
20	25,74	20,59	0,25	25,01	30,57	26,28	0,16	16,32
21	29,25	23,32	0,25	25,43	29,79	25,87	0,15	15,15
22	30,34	24,21	0,25	25,32	33,96	29,06	0,17	16,86
23	28,69	22,75	0,26	26,11	28,98	24,92	0,16	16,29
24	23,10	18,41	0,25	25,48	28,29	24,29	0,16	16,47
25	26,64	21,13	0,26	26,08	28,60	24,73	0,16	15,65
26	29,41	23,47	0,25	25,31	33,34	28,56	0,17	16,74
27	25,01	19,99	0,25	25,11	39,49	34,19	0,16	15,50
28	30,45	24,42	0,25	24,69	27,89	24,03	0,16	16,06
29	30,55	24,39	0,25	25,26	29,86	25,80	0,16	15,74
30	26,91	21,40	0,26	25,75	31,20	26,85	0,16	16,20
<b>Hcc moy (%)</b>				<b>25,47</b>	<b>Hpfp moy (%)</b>			<b>16,00</b>

## Annexe IV : Cout global du projet des 09 micro-bassins

Devis						
Matériaux	Quantité	Unité	Prix unitaire	Prix/matériaux	Nombre	Prix total
Argile	0	Charrettes	3500	0	3	0
Bitume	3	Sacs	17500	52500	3	157500
Plastique	20	Mètres	500	10000	3	30000
Ciment	1	Sacs	5750	5750	9	51750
Cailloux sauvages	2	Charrettes	3500	7000	9	63000
Sable	2	Charrettes	3500	7000	9	63000
Creusage du bassin	1	Bassin	20000	20000	9	180000
Main d'œuvre	1	Bassin	7500	7500	6+(3/2)	56250
<b>Total Bassin</b>						<b>601500</b>

**Annexe V : Tableau de classification du bitume**

Type de bitume	Norme	Nature de l'essai de qualification	nb	Classes
Bitumes purs	NF EN 12591 <sup>2</sup>	Pénétrabilité à l'aiguille à 25 °C	9	20-30 ; 30-45 ; 35-50 ; 40-60 ; 50-70 ; 70-100 ; 100-150 ; 160-220 ; 250-330
		Pénétrabilité à l'aiguille à 15 °C <sup>3</sup>	4	250/330 ; 330/430 ; 500/650 ; 650/900
		Viscosité cinématique à 60 °C <sup>4</sup>	4	V1500 ; V3000 ; V6000 ; V12000
Bitumes routiers durs	NF EN 13924 <sup>5</sup>	Pénétrabilité à l'aiguille à 25 °C	2	10/20 ; 15/25.
Bitumes industriels durs	NF EN 13305 <sup>5</sup>	Point de ramollissement bille et anneau	5	H80/90 ; H85/95 ; H90/100 ; H100/110 ; H155/165.
Bitumes oxydés	NF EN 13304 <sup>5</sup>	Point de ramollissement bille et anneau	8	85/25 ; 85/40 ; 95/25 ; 95/35 ; 100/40 ; 105/35 ; 110/30 ; 115/15.
Bitumes fluidifiés	XP T 65-002 <sup>5</sup>	Pseudo-viscosité à 25 °C	5	0-1 ; 10-15 ; 150-250 ; 400-600 ; 800-1 400.
Bitumes fluxés	XP T 65-003 <sup>5</sup>	Pseudo-viscosité à 25 °C	6	0-1 ; 10-15 ; 150-250 ; 400-800 ; 800-1 600 ; 1 600-3 200.
Bitumes modifiés	NF EN 14023 <sup>6</sup>	Pénétrabilité à l'aiguille à 25 °C	10	10-40 ; 25-55 ; 45-80 ; 40-100 ; 65-105 ; 75-130 ; 90-150 ; 120-200 ; 200-300.

Source : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Bitume#Propriétés\\_physico-chimiques](https://fr.wikipedia.org/wiki/Bitume#Propriétés_physico-chimiques)

**Annexe VI : Données brutes du double-anneau et de l'essai de tarière**
**Essai du double anneau**

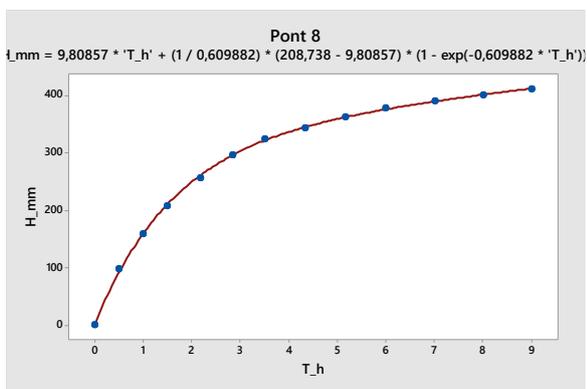
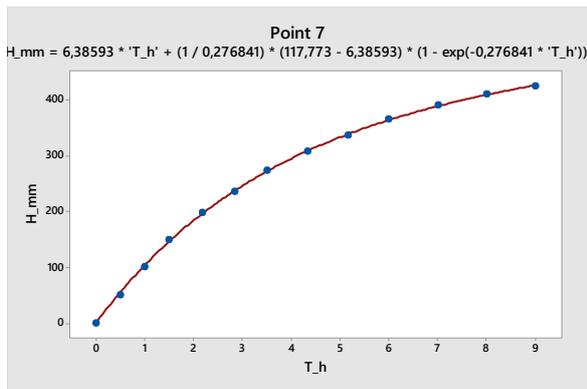
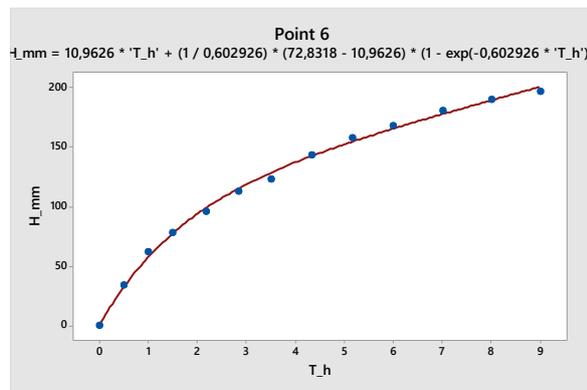
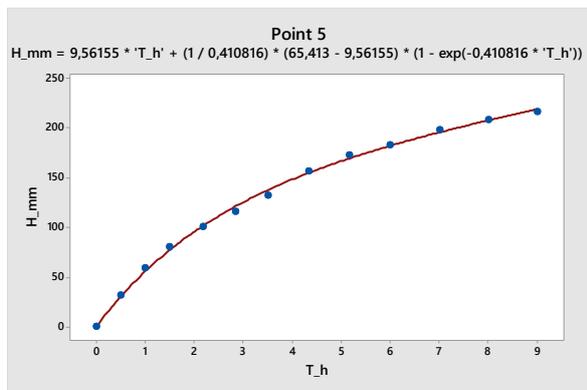
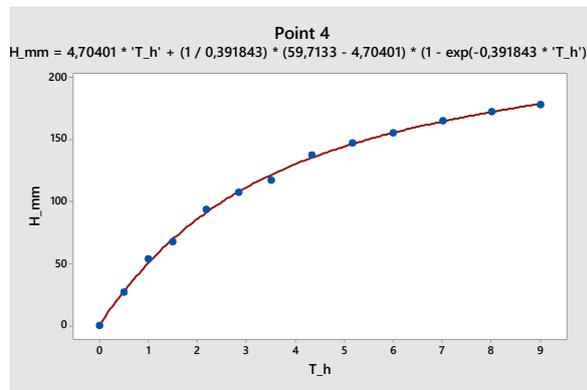
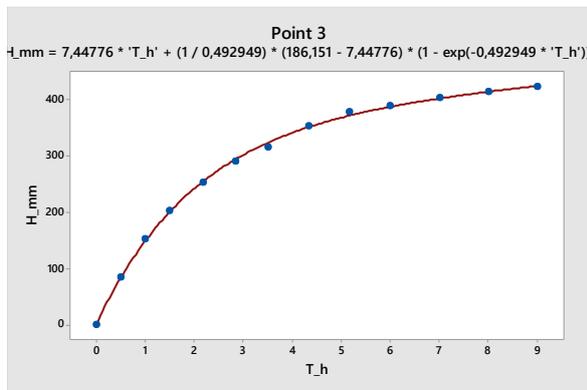
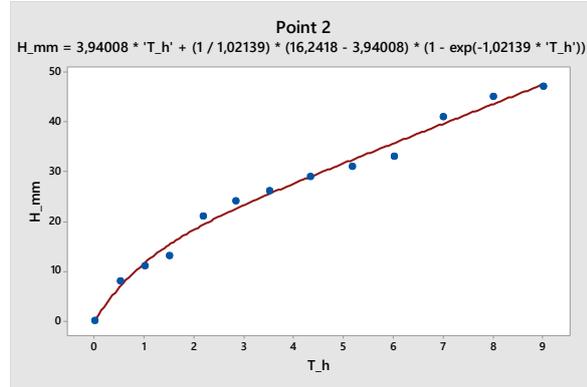
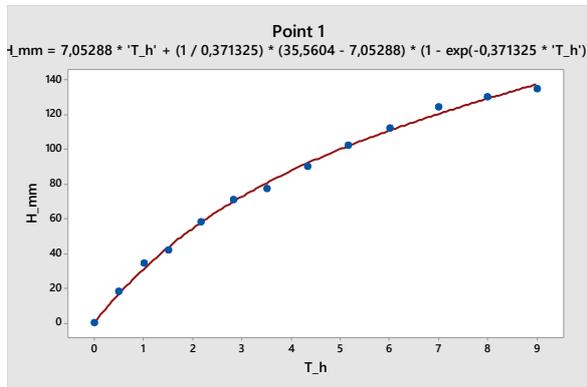
Points		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
Série	Temps(min)	Hauteur cumulé (mm)											
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	30	18	8	84	27	31	34	51	98	51	41	71	75
	60	34	11	153	53	59	62	101	158	88	71	111	111
	90	42	13	202	67	80	78	150	208	113	91	146	131
2	130	58	21	253	93	100	96	198	257	133	106	176	151
	170	71	24	291	107	116	113	236	296	149	116	186	166
	210	77	26	316	117	132	123	273	325	161	125	195	180
3	260	90	29	354	137	156	143	307	344	172	133	210	194
	310	102	31	379	147	172	158	336	362	182	141	220	204
	360	112	33	389	155	182	168	365	379	191	148	229	211
4	420	124	41	404	165	198	181	391	391	200	156	239	219
	480	130	45	414	172	208	190	411	402	209	163	247	224
	540	135	47	424	178	216	197	425	412	218	169	252	229

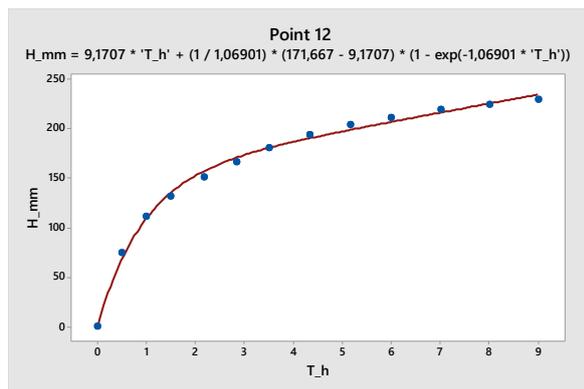
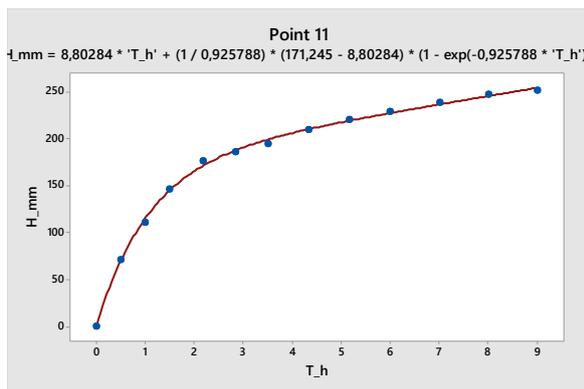
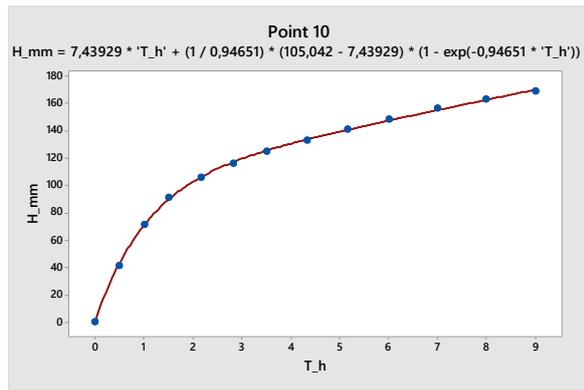
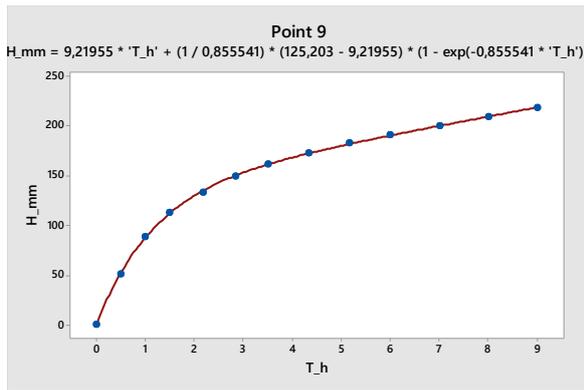
**Essai de tarière**

Points		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Série	Temps (min)	Hauteur cumulé (mm)														
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	10	18	29	17	10	5	24	21	21	20	5	7	1,7	1,8	1	10
	20	32	49	30	16	8	43	38	36	37	9	12	2,9	2,9	1,8	15
	30	47	67	40	20	10	60	53	48	51	12,5	16	3,8	3,9	2,4	20
2	45	69	93	54	33	13	88	75	66	71	17	20	4,5	4,7	3	25
	60	88	117	65	40	15	113	95	82	89	20	22,5	5,1	5,4	3,5	29
	75	103	138	77	49	18	135	114	97	104	22,5	24,5	5,6	6	3,9	32
3	95	120	170	93	58	22	166	139	118	123	25	26	6,1	6,6	4,3	33,6
	115	133	199	106	66	26	185	163	140	143	27	27	6,5	7,1	4,6	34,4
	135	148	226	121	73	29	211	187	160	160	28,5	27,8	6,8	7,5	4,8	35,2
4	160	169	261	139	83	34	243	216	184	182	30	28,6	7,1	7,8	5	35,8
	185	188	292	154	95	38	272	244	207	203	31,1	29,2	7,3	8	5,2	36,1
	210	205	325	167	105	43	299	272	230	223	32	29,7	7,4	8,2	5,4	36,4

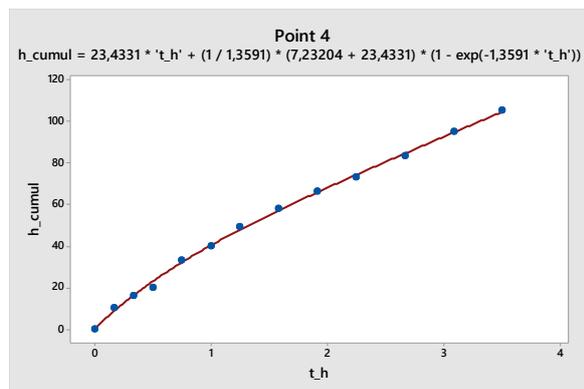
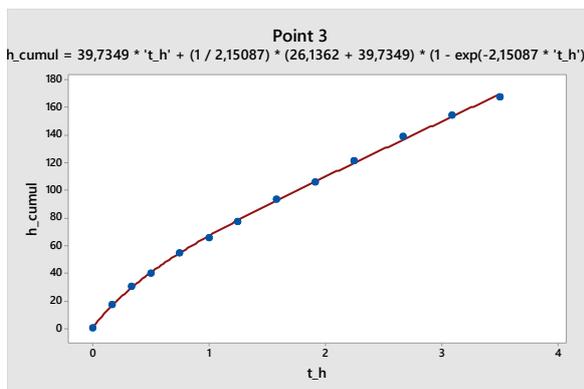
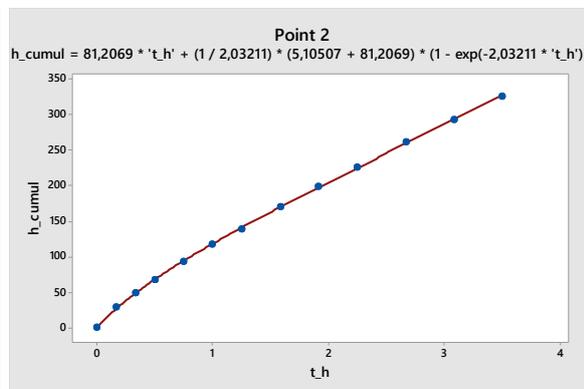
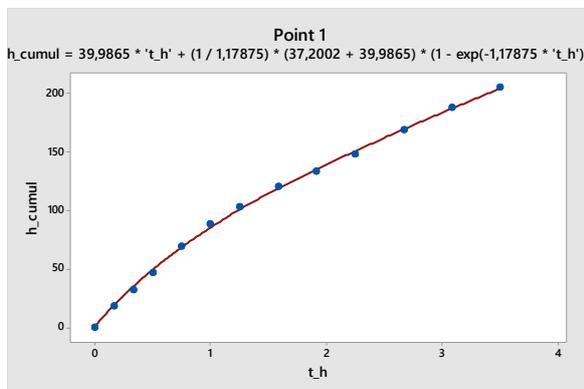
**Annexe VII : Détermination du Kat**

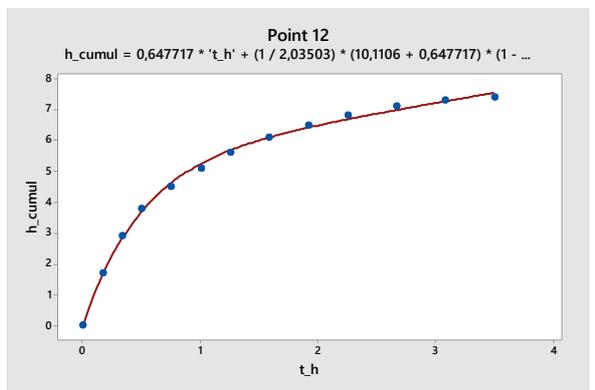
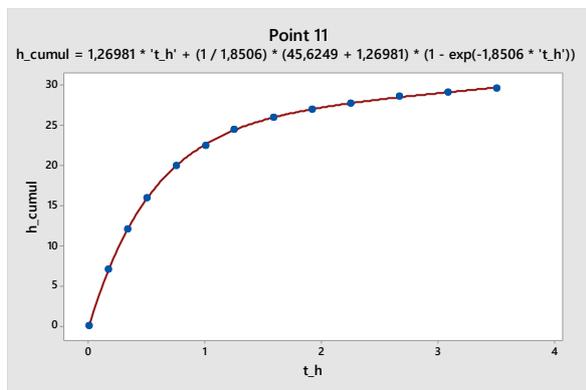
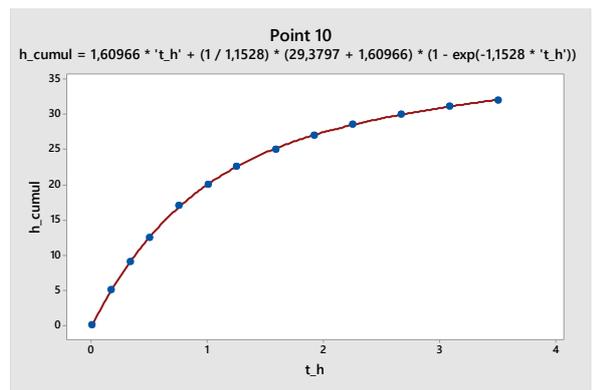
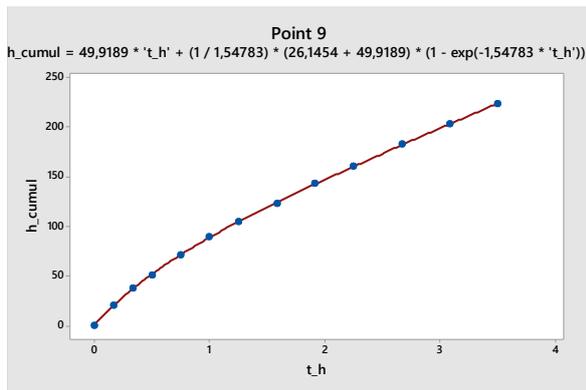
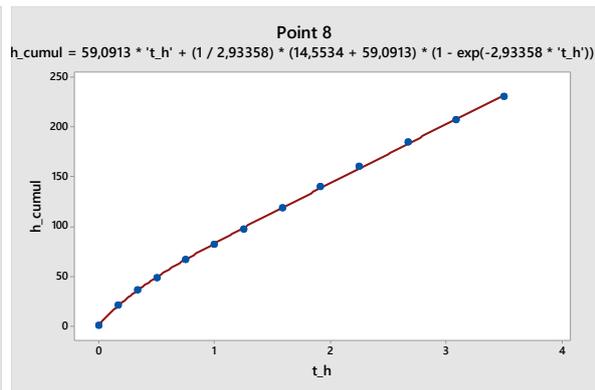
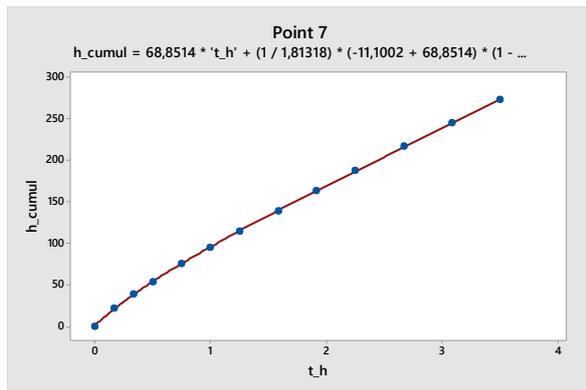
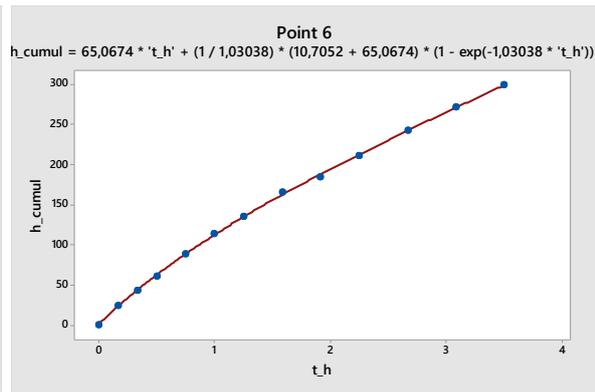
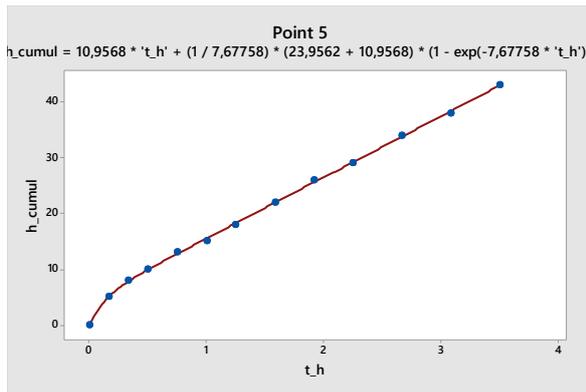
**Essai du double anneau**

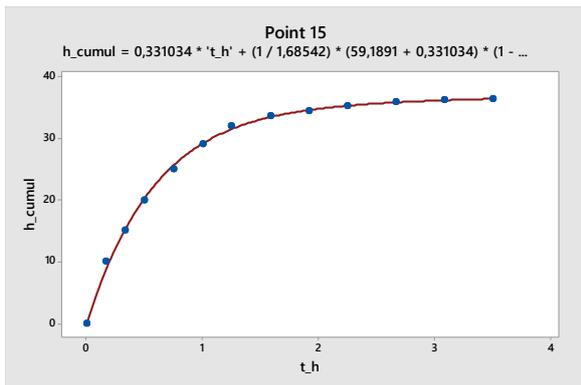
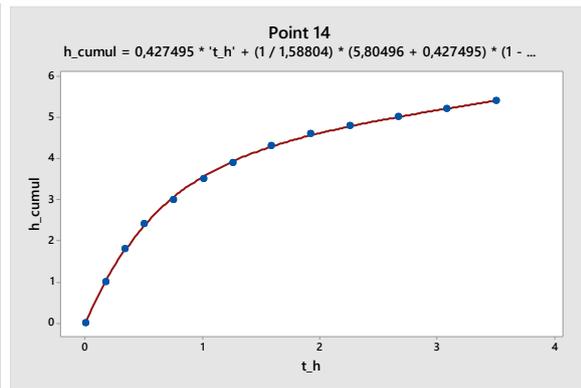
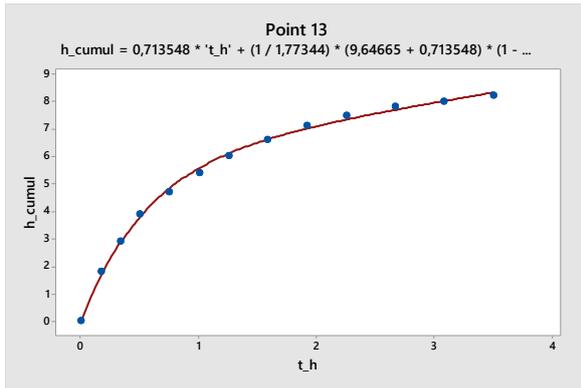




### Essai de tarière







**Annexe VIII : Données brutes d'infiltration**

Date	Bitume			Plastique			Argile		
	Bassin 1	Bassin 4	Bassin 7	Bassin 2	Bassin 6	Bassin 9	Bassin 3	Bassin 5	Bassin 8
13-juil	10	12		11	6		12	9	
14-juil	-4	-5		-3,5	-6		-11	-6	
15-juil	2,5	5		4	1		2	4	
16-juil	11	16,5		7	16		26	17	
17-juil	7	11		8	2		11	8	
18-juil	5,5	5		8	2		7	7	
19-juil	4,5	4,5		5	3		4	5	
20-juil	8	20		8	4		23	17	
21-juil	6	8		4	1		8	7	
22-juil	14	22		7	7		31	17	
23-juil	8	12		6	4		10	10	
24-juil	13	24,5		7	5,5		30	25	
25-juil	8	11,5		5	2,5		11	12	
26-juil	0	0,5		0	-1,5		-7	-3	
27-juil	10	22		14	4		18,5	-8,5	
28-juil	4	9		0,5	1,5		3	27	
29-juil	13,5	25		23	8		30	18	
30-juil	6	11,5	6,5	-7,5	2	10,5	12,5	9,5	7,5
31-juil	11,5	22	21	12	7	26	26	15	16,5
01-août	7	14,5	7	3	4,5	10,5	15	12,5	10,5
02-août	4	5	4	2	3	7	-4,5	6	5,5
03-août	11	22,5	13,5	8,5	1,5	16	32	14	12,5
04-août	8,5	25	16,5	10	7	-6	29	14,5	15,5
05-août	8,5	25,5	14	8,5	2	17	31,5	15	13
06-août	6,5	25,5	12	6	1	16	23,5	13	10
07-août	8	24,5	11	6	5	15	23	12	11
08-août	10	27,5	21	6	3	20,5	31	16,5	16,5
09-août	7	24,5	10	4,5	1,5	12,5	24	12	10
10-août	8,5	28	12,5	5,5	0	19	19,5	12,5	12
11-août	8,5	25,5	11	5	1,5	14,5	21,5	12	11
12-août	8,5	28,5	15	4,5	1	18	16	15	12
13-août	10,5	23	13,5	13	2	13,5	30,5	15,5	10,5
14-août	4,5	20,5	9,5	8	7	11	7,5	7,5	3,5
15-août	11	24,5	12,5	16	7,5	14,5	22,5	13	11
16-août	10,5	24,4	13,5	12,5	12	17,5	23	14	10,5

## Annexe IX : Données d'évaporation et pluviométrique

Date	Pluie (mm)	Evaporation(mm)
13-juil	0	0,70
14-juil	57,2	-2,30
15-juil	33,7	-1,30
16-juil	0	0,00
17-juil	0	0,40
18-juil	0	0,80
19-juil	0,7	1,30
20-juil	16,2	-1,00
21-juil	0	0,00
22-juil	0	0,20
23-juil	3,2	0,00
24-juil	0	1,60
25-juil	1	1,2
26-juil	31,3	0,3
27-juil	25,7	2,4
28-juil	16,4	2,2
29-juil	0,7	1,4
30-juil	7,6	-0,3
31-juil	3,2	0,5
01-août	0	0
02-août	4,6	-0,6
03-août	0,4	-0,1
04-août	0	-0,3
05-août	0	-0,5
06-août	25,6	-0,2
07-août	0,9	2,2
08-août	0	-0,2
09-août	11,9	-0,4
10-août	12,1	0,7
11-août	4,3	0,5
12-août	0	0,3
13-août	0	-0,1
14-août	46,6	-0,8
15-août	0	1,5
16-août	0	-1,2

**Annexe X : Méthodologie analyses physico-chimique**

- **Le Titre Alcalimétrique TA**

Prélever 100ml d'eau à l'aide d'une éprouvette graduée qu'on verse dans un bécher pour y ajouter 2 gouttes de phénolphthaléine. Agiter ensuite le mélange pour homogénéiser la solution ; une coloration rose doit se développer.

- **Le Titre Alcalimétrique Complet TAC**

A la solution précédente, on ajoute 2 gouttes d'indicateur mixte. Agiter pour homogénéiser ; la solution prend une coloration bleu-verdâtre. Verser ensuite doucement l'acide sulfurique de concentration 0,02 dans l'Erlenmeyer jusqu'à apparition d'une coloration rose pale.

- **La dureté totale ou Titre Hydrotimétrique TH**

Prélever 100ml d'eau à l'aide d'une éprouvette graduée qu'on verse dans un bécher. Ajouter 5ml d'une solution tampon pH10 avec la seringue puis une pincée de noir ériochrome T. Agiter à l'agitateur magnétique. On a une coloration violette. On dose avec l'EDTA de concentration 0,02 jusqu'à virer au bleu.

- **La dureté calcique TCa**

Prélever 100ml d'eau à l'aide d'une éprouvette graduée qu'on verse dans un bécher. Ajouter 5ml d'une solution tampon pH12 avec la seringue puis une pincée de calcon. Agiter à l'agitateur magnétique. On a une coloration violette. On dose avec l'EDTA de concentration 0,02 jusqu'à virer au bleu.

- **Les ions chlorures**

Prélever 100ml d'eau à l'aide de l'éprouvette graduée qu'on verse dans un bécher. Ajouter 2 gouttes de chromates de potassium avec la pipette. Agiter à l'agitateur magnétique. On a une coloration jaune. On dose avec la solution de nitrate d'argent jusqu'à virer au rouge brique.

- **Les ions nitrites ; nitrates, sulfates et phosphates**

Pour chaque réactif (NitraVer pour  $\text{NO}_3^-$ , NitriVer pour  $\text{NO}_2^-$ , Sulfaver pour  $\text{SO}_4$ , PhosVer pour  $\text{PO}_4^{3-}$ , Ferrover pour  $\text{Fe}^{2+}$ , Nessler pour  $\text{NH}_4^+$ , Spadns pour  $\text{F}^-$ ), prélever un volume d'eau brute comme indiqué sur la notice. Utiliser le spectrophotomètre ( pour notre étude il s'agit du spectrophotomètre DR3900) pour chronométrer le temps d'attente des échantillons après

agitation et introduire la cuve de référence (qui ne contient pas de réactif) puis les autres cuves contenant les réactifs les unes après les autres. Toujours grâce au spectrophotomètre, afficher la valeur de la concentration des ions concernés.

- **Demande Biologique en Oxygène (DBO<sub>5</sub>)**

Elle permet d'évaluer la fraction biodégradable de la charge polluante carbonée des eaux des BCER. Elle est calculée au bout de 5 jours à 20°C dans le noir.

- **Demande Chimique en Oxygène (DCO)**

La DCO représente la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder toute matière organique contenue dans les eaux collectées par les BCER.

**Annexe XI : Résultats de l'analyse de la qualité des eaux collectés par les micros-bassins**

<b>Paramètres physiques insu</b>				
Paramètres	Bitume	Plastique	Argile	Barrage
PH	8,1	8,08	8,03	7,86
Conductivité (us/cm)	84,65	89,22	84,87	77,72
Oxygène dissous (mg/l)	21,21	19,07	15,34	14,85
Température (°C)	25,26	24,92	24,72	24,5

<b>Résultat par titrimétrie</b>				
Paramètres	Bitume	Plastique	Argile	Barrage
TA	0	0	0	0
TAC	3,33	3,13	2,97	3,2
TH	3,51	3,35	3,67	3,32
Tca	2,2	2,12	2,66	2
Ions chlorure Cl <sup>-</sup>	0,73	0,73	0,54	0,5

<b>Résultats par spectrophotométrie, DBO et DCO</b>				
Paramètres	Bitume	Plastique	Argile	Barrage
Ions sulfate SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	50,20	105,60	128,80	64,00
Ions ferreux Fe <sup>2+</sup>	19,69	12,80	21,30	15,77
Ions nitrites NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	4,48	4,30	4,22	4,45
Ions nitrates NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	551,88	535,99	500,73	452,96
Ions phosphores PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	11,35	20,37	15,53	11,59
Ions ammoniums NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	16,63	9,86	13,84	26,56
Ions fluors F <sup>-</sup>	11,61	22,38	16,86	12,12
DCO	33,20	29,50	24,50	32,40
DBO <sub>5</sub>	28,75	73,75	24,25	17,50

Dureté de l'eau				
Date	Bitume	Plastique	Argile	Barrage
29/07/2020	12,45	13,36	11,94	9,90
03/08/2020	11,21	13,45	11,34	8,93
06/08/2020	11,55	13,83	10,00	12,68
10/08/2020	12,10	12,76	12,33	13,20
13/08/2020	10,73	13,66	12,33	11,42
<b>Moyenne</b>	<b>11,61</b>	<b>13,41</b>	<b>11,59</b>	<b>11,23</b>

Paramètres microbiologiques				
Paramètres	Bitume	Plastique	Argile	Barrage
SF	31000	25875	38750	77000
E.coli	32500	25500	39000	54000
CF	159250	82375	177625	222000
CT	188375	200208	238375	198250

Analyse des métaux lourds									
Paramètres (mg/L)	Localisation des BCER								
	SANRGO	BOURA	POUNI	SAKOU	ZOURA	RAKIEGRE	HORE	KAMBOISSE	
								Ancien BCER	Nouveau BCER
Aluminium Al	2,84	0,97	0,89	3,0	0,41	2,03	1,71	0,79	3,0
Fer Fe	4,981	1,109	2,156	5,325	0,917	2,469	1,604	0,95	4,227
Manganèse Mn	0,493	0,294	0,145	0,168	0,048	0,048	0,041	<b>0,085</b>	<b>0,168</b>
Titane Ti	0,055	0,025	0,039	0,072	< LD	0,024	0,037	0,022	0,046