



TRAITEMENT DE L'EAU A DOMICILE : CONCEPTION ET EVALUATION DE L'EFFICACITE DES FILTRES EN CERAMIQUE

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

Présenté et soutenu publiquement le 28 Janvier 2014 par

Elodie Banty BLEU

Travaux dirigés par :

Dr. Yacouba KONATE

Enseignant-Chercheur à 2IE/ CENTRE COMMUN DE RECHERCHE EAU ET CLIMAT--

--

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr. Harinaivo A. ANDRIANISA

Membres et correcteurs : Dr. Yacouba KONATE
Mr. Boukary SAWADOGO
Mr. Diafarou MOUMOUNI

Promotion [2012/2013]



Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

Fondation 2iE - Rue de la Science - 01 BP 594 - Ouagadougou 01 - BURKINA FASO – IFU 00007748B
Tél. : (+226) 50. 49. 28. 00 - Fax : (+226) 50. 49. 28. 01 - Mail : 2ie@2ie-edu.org - www.2ie-edu.org

CITATION

« Des techniques simples pour traiter l'eau à la maison et la conserver dans des récipients sûrs pourraient sauver un grand nombre de vies chaque année »

OMS et UNICEF (2005)

DEDICACES

Je dédie ce mémoire principalement à ma famille qui m'a soutenue tout au long de mes années d'études et qui demeure le pilier de ma vie.

A mon père pour son soutien moral et financier...

A ma douce mère pour ses conseils si précieux et son attention...

A mes frères et sœurs, Grace, Yann, Océane, Nadège, Hyacinthe, Innocent et Sandry pour leur soutien moral...

A ma « tata Popo » pour sa bienveillance...

A Yannick-Ariel, pour son soutien ...

A ma chouchou Dulcie pour son soutien....

A mes amis, Arcadius DJAITO, Patrick-Cyrille ADOPO, Gwladys BOUGAIRE, Gaëlle KO, Farida KONE, Massaran CISSE, Thérèse N'DAH et Rosine ANGUI pour tous les hauts et les bas affrontés ensemble.

REMERCIEMENTS

Ce travail est le fruit d'une collaboration directe ou indirecte avec des personnes ressources expérimentées et expertes dans leur domaine, qui ont bien voulu me faire l'honneur de bénéficier de leur savoir.

Mes remerciements vont ainsi à l'endroit de :

Docteur Yacouba KONATE, Enseignant-Chercheur à 2IE

Monsieur Mahamoudou TRAORE, Directeur de POCERAM

Monsieur Almassou TRAORE, Céramiste à POCERAM

Monsieur Boukary SAWADOGO et Monsieur Seyram SOSSOU, ingénieurs de recherche, pour leur aide

Messieurs Moustapha OUEDRAOGO, Bernard ZONGO et Noel TINDOURE, personnel du laboratoire LEDES, pour leur appui technique et leur disponibilité.

Enfin Merci à tous ceux dont le nom ne figure pas ici mais qui m'ont soutenu de près ou de loin et que je porte dans mon cœur.

Je te remercie infiniment « Père » pour ton assistance et ta protection...

RESUME

Les maladies diarrhéiques sévissent aujourd'hui dans les pays en développement surtout chez les enfants de moins de 5 ans. Au Burkina Faso, le constat est le même car la diarrhée fait partie des trois premières causes de mortalité infantile (INSD, 2010). Ces maladies sont nécessairement causées par le manque d'accès à l'eau potable, d'infrastructures d'assainissement adéquates et au non-respect ou à l'ignorance des règles d'hygiène. Les zones rurales sont les plus touchées par le phénomène.

Dans l'optique de pallier à ce problème, l'OMS, à la suite de plusieurs études menées, préconise le traitement de l'eau à domicile. Plusieurs techniques en découlent et celle étudiée ici est la filtration sur céramique.

Cette étude a essentiellement consisté à concevoir et à évaluer les filtres en céramique avec des matériaux locaux. Elle avait pour objectif de trouver le mélange adéquat de matériaux argileux et de sciure de bois pour la fabrication des filtres en céramique afin d'améliorer leur efficacité en terme de traitement de l'eau à domicile. Avec l'aide de POCERAM, une entreprise spécialisée dans la fabrication de produits céramiques, plusieurs prototypes de filtres ont ainsi été produits avec différents ratios de mélanges d'argile et sciure de bois. Sept de ces prototypes ont par la suite été choisis pour des contrôles de qualité et les analyses physico-chimiques et microbiologiques des eaux filtrées au laboratoire LEDES de la Fondation 2iE. Les débits de filtration obtenus varient entre 0,1 et 2,5 l/h avec une moyenne de 1,23 l/h. Les analyses microbiologiques se sont intéressées aux coliformes fécaux de façon générale et spécifiquement les *E. coli* qui sont des indicateurs de contamination fécale. Le taux d'abattement moyen des coliformes fécaux est de 2,4 ulog et est sensiblement proche de celui des *E. coli* qui est de 2,3 ulog.

Les filtres retenus après cette évaluation sont au nombre de six et présentent des résultats plutôt acceptables. Le meilleur d'entre eux a un débit moyen de 2,1 Litres par heure, un taux d'abattement moyen des coliformes fécaux de 2,2 u.log et un taux d'abattement moyen en *E. coli* de 2,2 u.log. Sa composition jugée plus adéquate est faite de 80% d'argile, de 5% de sciure de bois et 15% de chamotte. Cette composition pourrait servir de base pour la conception des filtres qui seraient destinés à la vulgarisation.

Mots clés : traitement de l'eau à domicile, filtre en céramique, qualité microbiologique.

ABSTRACT

Diarrheal diseases are prevalent today in developing countries especially among children under five years. In Burkina Faso, is experiencing that situation diarrhea is one of the three main causes of infant mortality (INSD, 2010). These diseases are necessarily caused by lack of access to safe drinking water, sanitation and non-observance or ignorance of the rules of hygiene. Rural areas are the most affected ones by the phenomenon.

In order to address the issue, WHO, following various studies, recommends treating water at home. Several techniques have been found and the one studied here is ceramic filtration.

This study consists mainly of designing and evaluating ceramic filters using local materials. It aimed to find the right mixture of clay materials and sawdust for the production of ceramic filters in order to improve their effectiveness in terms of water treatment at home. With the support of POCERAM, a company specialized in manufacturing ceramic products, several filters prototypes were produced with different ratios of clay and sawdust mixtures. Seven of these prototypes have subsequently been selected for quality checks and physical, chemical and microbiological analysis of water filtered in laboratory LEDES of 2iE Foundation.

The filtration rates obtained vary between 0.1 and 2.5 l/h with an average of 1.23 l/h. Microbiological analyzes have focused on fecal coliform in general and specifically *E. coli*, which are indicators of fecal contamination. The average reduction of fecal coliform is 2.4 u.log and is substantially similar to that of *E. coli* which is 2.3 u.log.

Six among prototype filters with rather acceptable results have been selected after this study. The best of them has an average flow rate of 2.1 liters per hour, an average reduction of fecal coliform of 2.2 u.log and an average reduction in *E. coli* of 2.2 u.log. Relevant composition includes 80% clay, 5% sawdust and 15 % grog. This composition could serve as the basis for the design of filters that would be disseminated.

Keywords: water treatment at home, ceramic filter, microbiological quality, clay and sawdust.

LISTE DES ABRÉVIATIONS

°C : Degré Celsius

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

CAWST: Centre for affordable Water and Sanitation Technology

CF : Coliformes Fécaux

E. coli : *Escherichia Coli*

EB : Eaux Brutes

EF : Eaux Filtrées

INSD : Institut National de la Statistique et de la Démographie

LEDES : Laboratoire Eau, Dépollution, Écosystème et Santé

MES : Matières En Suspension

OMD : Objectifs du Millénaire pour le Développement

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ONG : Organisation Non Gouvernementale

PNUD : Programme des Nations Unies pour le Développement

POCERAM : Produits Céramiques

pS-Eau : Programme Solidarité Eau

PSI : Population Services International

RGP-BF : Recensement Général de la Population – Burkina Faso

UFC: Unité Formant Colonie

UNICEF: United Nations Children's Fund

USAID: United States Agency of International Development

TABLE DES MATIERES

CITATION	<i>i</i>
DEDICACES	<i>ii</i>
REMERCIEMENTS	<i>iii</i>
RESUME	<i>iv</i>
ABSTRACT	<i>v</i>
LISTE DES ABRÉVIATIONS	<i>vi</i>
TABLE DES MATIERES	<i>vii</i>
LISTE DES TABLEAUX	<i>x</i>
LISTE DES FIGURES	<i>xi</i>
INTRODUCTION	<i>1</i>
Chapitre I: Synthèse bibliographique	<i>3</i>
I.1- La qualité de l'eau	<i>4</i>
I.1.1 Définition	<i>4</i>
I.1.2 Les paramètres organoleptiques	<i>4</i>
I.1.3 Les paramètres physico-chimiques	<i>4</i>
I.1.4 Les paramètres microbiologiques	<i>5</i>
I.1.5 Qualité des eaux brutes utilisées pour la production d'eaux de boisson	<i>5</i>
I.1.6 Les facteurs d'altération de la qualité de l'eau	<i>6</i>
I.1.7 L'accès à l'eau potable au Burkina Faso	<i>7</i>
I.2- Les maladies hydriques	<i>7</i>
I.3- Les techniques de traitement de l'eau à domicile	<i>8</i>
I.3.1 Les techniques de sédimentation	<i>9</i>
a- La méthode des trois (3) récipients.....	<i>9</i>
b- La décantation chimique	<i>10</i>
c- La purification traditionnelle	<i>10</i>
I.3.2 Les techniques de désinfection	<i>11</i>
a- L'ébullition.....	<i>11</i>
b- La désinfection solaire	<i>11</i>

c- La désinfection chimique	12
I.3.3 Les techniques de filtration.....	12
a- Filtration sur tissu.....	13
b- Filtration sur sable.....	13
c- Filtration sur céramique.....	13
Chapitre II: Matériels et Méthodes.....	15
II.1- Les activités en atelier céramique.....	16
II.1.1 Matériels	16
II.1.2 Méthodes.....	16
II.2 La mission dans une structure de fabrication de filtre en céramique : PHW	17
II.2.1 Le processus de conception des filtres du Ghana.....	18
II.2.2 Le contrôle de qualité et les analyses bactériologiques.....	19
II.3. L'échantillonnage	20
II.3.1 Le site	20
II.3.2 Matériels de prélèvement	21
II.4 Les activités en laboratoire	21
II.4.1 L'imprégnation à la solution d'argent colloïdal.....	21
II.4.2 Le contrôle de qualité	22
II.4.3. Les analyses microbiologiques	22
II.5. Les critères de choix des meilleurs filtres.....	23
Chapitre III : Résultats et Discussion	25
III.1 Résultats	26
III.1.1. Les débits.....	26
a-Présentation des compositions de filtres testées	26
b-Le bubble test	27
c-Évaluation du débit.....	27
III.1.2 Caractéristiques des eaux brutes	28
a Les paramètres physico-chimiques	28
b- Les paramètres bactériologiques	30
III.1.3 Caractéristiques des eaux filtrées.....	31

a- Les paramètres physico-chimiques.....	31
b- Les paramètres bactériologiques	32
III.1.4 Efficacité de traitement des filtres	33
a- Élimination de MES	33
b- Élimination de la turbidité.....	34
c- Élimination des indicateurs de contamination fécale	34
III.1.5. Choix des filtres les plus efficaces	38
<i>III.2 Discussion et Analyses.....</i>	<i>39</i>
III.2.1 Le débit des filtres	39
III.2.2 L'abattement en coliformes fécaux.....	40
III.2.3. L'abattement en <i>E. coli</i>	41
<i>III.3 Le choix du filtre.....</i>	<i>42</i>
<i>Conclusion</i>	<i>43</i>
<i>Recommandations – Perspectives</i>	<i>45</i>
<i>Bibliographie</i>	<i>46</i>
<i>Annexes.....</i>	<i>A</i>

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Qualité bactériologique de l'eau de boisson (OMS, 1994).....	5
Tableau 2: Exigences de qualité des eaux douces superficielles utilisées ou destinées à être utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine (Bontoux,1993)	6
Tableau 3: Nombre de cas notifiés de maladies infectieuses liées à l'eau (OMS, 2013)	7
Tableau 4: Directives OMS pour la caractérisation du risque dans l'eau de consommation ...	24
Tableau 5: Critères de choix et indicateurs	24
Tableau 6: Proportion d'argile et de sciure de bois pour les premiers tests	26
Tableau 7: Les filtres sélectionnés pour les analyses en laboratoire.....	27
Tableau 8: Evaluation comparative de l'efficacité de chaque filtre	38
Tableau 9: Comparaison entre les débits de l'étude et celles effectuées au Cambodge, au Ghana et au Nicaragua.....	39

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Etapes du traitement de l'eau à domicile..... 9

Figure 2: La méthode des trois récipients 10

Figure 3: Le fruit, la graine et la feuille du *Moringa Olifera*..... 11

Figure 4: Traitement de l'eau par désinfection solaire 12

Figure 5: filtre en céramique 14

Figure 6: filtre en céramique du Ghana (PHW) 14

Figure 7: Processus de fabrication des filtres en céramique 17

Figure 8: Etapes de fabrication du filtre en céramique à PHW, Ghana. 18

Figure 9: Le bubble test..... 19

Figure 10: Mesure de débits PHW, Ghana..... 19

Figure 11: Echantillonnage d'eau filtrée, PHW Ghana 20

Figure 12: Carte routière Kamboinsé (Google earth 2013)..... 21

Figure 13: Evolution du débit des filtres par jour (Litre/ heure) 27

Figure 14: Débit moyen dans chaque filtre 28

Figure 15: Evolution du pH de l'eau brute 28

Figure 16: Evolution de la conductivité dans l'eau brute 29

Figure 17: Evolution de la turbidité de l'eau brute 29

Figure 18: Evolution des matières en suspension de l'eau brute 30

Figure 19: Evolution des coliformes fécaux et *E. coli* dans l'eau brute 30

Figure 20: pH moyens des eaux filtrées 31

Figure 21: Conductivités moyennes des eaux filtrées 31

Figure 22: Turbidités moyennes des eaux filtrées..... 32

Figure 23: Matières en suspension dans l'eau filtrée..... 32

Figure 24: Concentrations moyennes des coliformes fécaux dans les eaux filtrées 33

Figure 25: Concentration moyenne d'*E. coli* dans les eaux filtrées 33

Figure 26: Elimination des matières en suspension 34

Figure 27: Elimination de la turbidité 34

Figure 28: Répartition des échantillons selon l'abattement en coliformes fécaux dans les filtres
..... 35

Figure 29: Evolution de l'abattement en coliformes fécaux des filtres par jour..... 35

Figure 30: Abattement moyen en pourcentage des coliformes fécaux dans chaque filtre 36

Figure 31: Répartition des échantillons selon l'abattement en *E. coli* dans les filtres..... 36

Figure 32: Evolution de l'abattement en *E. coli* des filtres par jours 37

Figure 33: Evolution de l'abattement d' <i>E. Coli</i> dans le filtre D1	37
Figure 34: Abattement moyen en <i>E. Coli</i> de chaque filtre en %	38
Figure 35: Débits et compositions des filtres	40
Figure 36: Comparaison du taux d'abattement en <i>E. coli</i> avec d'autres études.....	42

INTRODUCTION

Signée en septembre 2000 par plusieurs pays du monde, la déclaration du millénaire des Nations Unies contient les Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD) qui devraient être atteints d'ici 2015. Ils sont au nombre de huit (8) objectifs parmi lesquels figurent ceux qui visent à réduire de 50% le nombre de personnes n'ayant pas accès à l'eau potable et aux infrastructures d'assainissement. Ces difficultés d'accès à l'eau salubre entraînent la contraction de maladies hydriques par les populations. Selon les statistiques de l'OMS (2008), les maladies hydriques représentent près de 4% des causes de mortalité dans le monde. Ce taux est encore plus élevé dans les pays en développement avec plus de ravage dans la population infantile car 90% des décès surviennent chez des enfants de moins de 5 ans (OMS, 2007).

Pour atteindre ces OMD, il devient donc urgent de mettre en place des infrastructures hydrauliques d'approvisionnement en eau potable surtout chez les populations les plus pauvres. Cela est en bonne voie dans plusieurs pays en voie de développement dont le Burkina Faso où l'on peut noter que le taux d'accès à l'eau potable se situe entre 76% et 90% (OMS et UNICEF, 2013) avec toutefois de fortes disparités régionales (PNUD, Burkina Faso). Néanmoins l'on constate toujours une persistance des maladies diarrhéiques qui serait due à une contamination de l'eau lors de la collecte, du transport, du stockage, dans l'utilisation et aussi au non-respect ou la méconnaissance des règles d'hygiène à observer.

Pour y remédier, plusieurs solutions ont été expérimentées et réalisées dont le traitement de l'eau à domicile qui, selon le rapport «UN World Water Development » de 2003, est la méthode la plus efficace en terme de traitement de l'eau et de coût abordable pour les populations pauvres. Les Organisations Non Gouvernementale à caractère humanitaire comme la Croix Rouge et PSI (Population Services International) démontrent l'efficacité de cette méthode par son utilisation lors de leurs opérations dans les zones de crise. C'est dans cette même optique que la fondation 2IE en collaboration avec l'université d'Hokkaido conduit des travaux de recherche sur un projet dénommé AMELI-EAUR (Amélioration des conditions d'accès à l'eau potable et à l'assainissement en milieu urbain et rural du Burkina Faso) qui a pour but de développer des nouvelles technologies de traitements adaptées de l'eau aux contextes socio-économiques des pays sahéliens. L'un des axes de recherche dans ce projet porte sur les techniques alternatives de traitement de l'eau à domicile notamment par les filtres en céramique. Cette technique est déjà connue et appliquée dans certains pays dont les États unis, la Colombie, le Cambodge, le Ghana et le Benin.

C'est dans ce cadre qu'intervient le thème de notre recherche portant sur le traitement de l'eau à domicile : Conception et évaluation de l'efficacité des filtres en céramique. Il s'agira pour nous de mener deux (2) activités principales qui sont la fabrication des filtres en céramique et l'étude de leur efficacité de traitement en laboratoire afin d'apporter aux populations une solution efficace simple et bon marché pour leur bien-être et leur santé.

Pour ce faire, nous présenterons dans ce mémoire une synthèse bibliographique regroupant les connaissances sur la qualité de l'eau, les différentes techniques simples de traitement de l'eau à domicile connues et les différentes maladies hydriques touchant le monde plus précisément les populations des pays en développement tel que le Burkina Faso. Ensuite, il s'agira pour nous d'identifier les matériels utilisés et la méthodologie de travail suivie pour effectuer les activités de recherche. Enfin, nous présenterons les résultats obtenus, leurs interprétations et les discussions qui en découlent.

Objectif général

L'objectif général de cette étude est de concevoir des filtres en céramique efficaces à partir de matériaux locaux pour le traitement de l'eau à domicile au Burkina Faso.

Objectifs spécifiques

Pour atteindre notre objectif principal, plusieurs étapes sont à franchir. Nous devons pour ce faire :

- Tester de façon pratique les différents mélanges, en proportions d'argile et de sciure de bois pour produire différents prototypes de filtres;
- Sélectionner les plus satisfaisants sur le plan technique et évaluer leur efficacité dans le traitement de l'eau à domicile sur les aspects physico-chimiques et microbiologiques;
- Choisir le filtre ayant le mélange adéquat en proportion d'argile et de sciure de bois, et dont la capacité de traitement est satisfaisante par rapport aux normes de qualité des eaux de consommation.

Hypothèses de recherche

1. Le débit des filtres en céramique varie en fonction de la proportion de la sciure de bois dans le ratio de mélange.
2. Les filtres en céramique fabriqués localement améliorent la qualité bactériologique de l'eau à traiter.

Chapitre I: Synthèse bibliographique

Le thème soumis à notre étude a nécessité, pour une meilleure appréhension de son contexte, une recherche bibliographique sur plusieurs thématiques portant sur la qualité de l'eau en général et tout ce qui peut l'affecter, les maladies hydriques pouvant être transmises par cette source et les techniques de traitement de l'eau à domicile.

I.1- La qualité de l'eau

L'eau est source de vie. Elle sert à subvenir aux besoins des hommes et pour leurs activités. Elle est nécessaire pour la boisson quotidienne, la cuisson des aliments, la toilette, le nettoyage du cadre de vie et pour bien d'autres activités importantes pour l'épanouissement. Il devient alors plus que nécessaire pour les populations d'avoir accès à l'eau. Parmi tous ces besoins l'attention est portée ici sur l'eau comme boisson vitale pour l'homme. En effet, selon Baumann (1984) l'homme a besoin de 1 à 2 litres d'eau par jour, soit une moyenne de 1,5 litres.

I.1.1 Définition

L'eau de boisson ou eau potable peut être définie, en se référant à l'OMS comme une eau ne renfermant en quantités dangereuses, ni substances chimiques, ni germes nocifs pour la santé. En outre, elle doit être « aussi agréable à boire que les circonstances le permettent » (Bontoux, 1993). Ainsi, toute eau destinée à la consommation humaine doit répondre à des normes de qualité, prenant en compte les caractéristiques organoleptiques, physico-chimiques et microbiologiques.

I.1.2 Les paramètres organoleptiques

Les caractéristiques organoleptiques concernent essentiellement la couleur, l'odeur et la saveur. Elles sont importantes car elles sont déterminantes pour l'agrément de la consommation et peuvent servir d'indicateurs de présence pour certaines pollutions. L'eau potable doit être incolore, inodore et sans goût (Cours 2IE de technique analytique pour l'eau, 2011).

I.1.3 Les paramètres physico-chimiques

L'analyse des caractéristiques physico-chimiques (température, pH, conductivité, matières en suspension) est nécessaire pour observer l'évolution de la qualité de l'eau et distinguer la présence de contaminants dans l'eau. Le pH (potentiel hydrogène) mesure la concentration en ion hydrogène et sa valeur doit se trouver entre 6,5 et 9 conformément aux normes de qualité. La température est un paramètre de confort pour les usagers. Elle n'a pas d'impact significatif sur le traitement de l'eau et est recommandé à 25°C ou moins. La conductivité mesure la

capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. Elle permet d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau et sa valeur guide est de 400µS/cm à 20°C. La turbidité représente la transparence d'une eau et nécessite une concentration inférieure ou égale à 5NTU (Bontoux, 1993). Les matières en suspension sont des particules en suspension sous forme colloïdale dont la présence dans l'eau augmente sa turbidité. La teneur limite, en termes d'exigence de qualité pour l'eau brute destinée à la consommation humaine, est de 25 mg/l (Bontoux, 1993).

I.1.4 Les paramètres microbiologiques

L'analyse microbiologique d'une eau de boisson est importante pour détecter la présence des germes responsables des maladies transmises par voie hydrique. En occurrence, la recherche et le dénombrement des coliformes fécaux sont les plus communs car ces germes sont des indicateurs de contamination fécale (Bontoux, 1993). Ainsi pour assurer la potabilité de l'eau les coliformes fécaux dont *E. coli* ne doivent pas être détectés dans un échantillon de 100 ml. Les teneurs limites recommandées par l'OMS sont données dans le **tableau 1** suivant.

Tableau 1: Qualité bactériologique de l'eau de boisson (OMS, 1994)

Organismes	Valeur guide
Toutes les eaux destinées à la consommation <i>E. coli</i> ou <i>bactéries thermotolérantes</i>	Non détectables dans échantillon de 100 ml
Eaux traitées, à l'entrée du réseau de distribution <i>E. coli</i> ou <i>bactéries coliformes thermotolérantes</i> <i>Coliformes totaux</i>	Non détectables dans échantillon de 100 ml
Eaux traitées, dans le réseau de distribution <i>E. coli</i> ou <i>bactéries coliformes thermotolérantes</i> <i>Coliformes totaux</i>	Non détectables dans échantillon de 100 ml

I.1.5 Qualité des eaux brutes utilisées pour la production d'eaux de boisson

Toutes les eaux ne sont pas destinées à la production d'eau de boisson. Une qualité minimum est exigée (**Tableau 2**). Selon leur niveau de qualité chacune d'elle doit subir un traitement spécifique. Les eaux brutes de bonne qualité (A1) nécessitent un traitement physique simple. Celles de qualité moyenne (A2) ont besoin d'un traitement normal physique simple et une désinfection. Pour les eaux brutes de qualité médiocre (A3), un traitement physique, chimique poussé, affinage et désinfection est indispensable.

Tableau 2: Exigences de qualité des eaux douces superficielles utilisées ou destinées à être utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine (Bontoux,1993)

G : Valeur guide I : Valeur limite impérative

Groupes de paramètres	Paramètres	A1		A2		A3	
		G	I	G	I	G	I
Paramètres organoleptiques	Coloration (après filtration simple) mg/l (échelle Pt)	10	20	50	100	50	200
	Odeur (facteur de dilution à 25°C)	3		10		20	
Paramètres physico-chimiques	Conductivité µs/cm à 20°C	1000		1000		1000	
	Température (°C)	22	25	22	25	22	25
	pH (unités pH)	6,5 - 8,5		5,5 - 9		5,5 - 9	
	Chlorures (mg/l.cl)	200		200		200	
	Sulfates (mg/l)	150	250	150	250	150	250
	Matières en suspension (mg/l)	25					
Paramètres microbiologiques	Coliformes totaux 37°C (100 ml)	50		5000		50000	
	Coliformes thermotolérants (100 ml)	20		2000		20000	
	Streptocoques fécaux (100 ml)	20		1000		10000	
	Salmonelles	Absence dans 5000 ml		Absence dans 1000 ml			

I.1.6 Les facteurs d'altération de la qualité de l'eau

Dans les zones rurales et péri-urbaines des pays en voie de développement comme le Burkina Faso, les maladies hydriques font parties des causes de consultations sanitaires et de mortalité. Cela a pour origine une contamination de l'eau intervenant lors de l'approvisionnement des populations en eau. Les ménages n'étant pas desservis individuellement, les populations font des kilomètres pour s'approvisionner aux sources d'eau, bornes fontaines ou forages les plus proches de leurs domiciles. Ce type d'approvisionnement fait intervenir la notion de « chaîne de l'eau » constituée d'une phase de transport et de stockage (Lalanne, 2012). La qualité de l'eau peut être affectée à plusieurs maillons de cette chaîne. L'eau peut être polluée à la source par une fuite des fosses septiques et des latrines, par des infiltrations d'eau contaminées ou des mains et récipients non lavés, par l'utilisation de cette eau par les animaux. Lors du transport, de la conservation et de l'utilisation de l'eau, la

contamination peut survenir lorsque les règles d'hygiène ne sont pas respectées et que l'entretien des récipients de stockage n'est pas régulier (Croix Rouge, 2008). Toutes ces contaminations altèrent la qualité de l'eau et la rende nuisible à la santé de l'homme.

I.1.7 L'accès à l'eau potable au Burkina Faso

Au Burkina Faso, la distribution de l'eau se fait de deux façons. En zone urbaine, il existe des réseaux de distribution d'eau potable qui alimentent la plupart des familles dont la taille moyenne de ménage est de 5,9 soit 6 personnes (INSD, 2006).

Cependant les zones péri urbaines et rurales ne bénéficient pas d'un raccordement aux réseaux et s'approvisionnent aux marigots, aux puits et dans les forages. L'accès à l'eau potable est ainsi mal reparti et insuffisant car la population rurale, constituant 70% de la population (RGP-BF 2006), ne bénéficie pas des infrastructures d'eau de boisson. Cependant, la mise en place d'infrastructures hydrauliques telles que les forages et les bornes fontaines constituent les efforts consentis par l'état pour offrir aux populations une eau « propre ». Cette bonne initiative, qui réduit la population n'ayant pas accès à l'eau potable (PNUD Burkina Faso) et aux infrastructures d'assainissement, reste insuffisante par rapport au taux fixé par les OMD.

I.2- Les maladies hydriques

Une maladie est une altération des fonctions ou de la santé d'un organisme vivant, caractérisée par différents symptômes et une certaine évolution dans le temps. Ainsi, les maladies liées à l'eau représentent tout dysfonctionnement de l'organisme causé par l'eau. Ces maladies sont diverses et touchent toutes les populations en Afrique comme dans le reste du monde (**Tableau 3**).

Tableau 3: Nombre de cas notifiés de maladies infectieuses liées à l'eau (OMS, 2013)

Maladies infectieuses liées à l'eau	Nombre de cas notifié		
	Burkina Faso	Afrique	Monde
Choléra	20	110915	589854
Paludisme	428113	20168253	23826496
Fièvre Jaune	1024	2446	--
Méningite	6957	28281	--

Elles sont contractées par ingestion d'eau ou d'aliments directement ou indirectement contaminés par l'eau non potable. Bontoux (1993) les subdivise en deux groupes à savoir : les

diarrhées et infections intestinales et les infections à manifestation non spécifiquement intestinale.

Les diarrhées et infections intestinales regroupent le choléra et la fièvre typhoïde qui sont des exemples classiques (Samaro, 2011). A cela s'ajoutent les Shigelloses, les Gardiases, les Cryptosporidoses, les Amibiases, les Ascaridoses et les Gastro-entérites transmises généralement par des protozoaires parasites et provoquent chez l'homme des douleurs abdominales, de la diarrhée, de la fièvre, de la nausée, des vomissements, des malaises (Kleiman, 2011) etc.

Les infections à manifestation non spécifiquement intestinale sont constituées essentiellement de l'hépatite A qui se traduit par une lassitude générale, une anorexie, une jaunisse; la poliomyélite due à des virus qui peut causer une paralysie; le téniasis et la dracunculose sont provoquées par des vers. Ces maladies peuvent provoquer chez le malade une atteinte du cerveau, des muscles et de l'œil ou des enflures, des cloques, des brûlures etc ... (Bontoux, 1993).

I.3- Les techniques de traitement de l'eau à domicile

Défini comme étant toute activité mise en œuvre ou toute méthode utilisée à domicile dans l'objectif de rendre l'eau potable pour la consommation des personnes, le traitement de l'eau à domicile est une méthode utilisée et vulgarisée par les Organisations Non Gouvernementales et les organismes humanitaires tels que la croix rouge, le croissant rouge, United States Agency of International Development (USAID), le programme Solidarité-Eau (pS-Eau), Population Services International (PSI) etc... Les techniques simples appartenant à ce mode de traitement désigneront celles qui sont faciles à mettre en pratique et accessibles à toutes les couches sociales. Ces techniques sont pour la plupart traditionnelles et connues depuis plusieurs années. Selon l'organisme Centre for affordable Water and Sanitation Technology (CAWST), pour obtenir une meilleure potabilisation de l'eau de boisson, le processus de traitement de l'eau à domicile comprend trois étapes complémentaires que sont la sédimentation qui permet de supprimer les grosses particules (sable, gravier et les saletés), puis la filtration qui permet d'éliminer les particules fines et quelques pathogènes, et enfin la désinfection qui élimine tous les germes pathogènes. **La figure 1** ci-après illustre cette démarche.

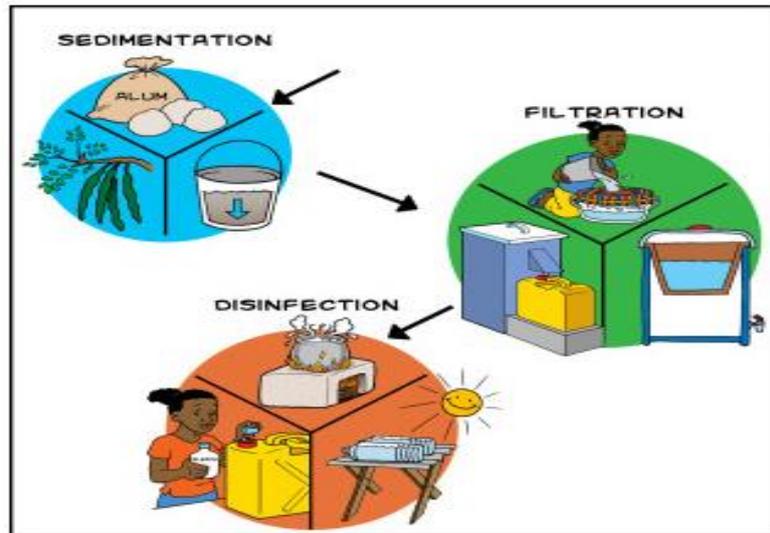


Figure 1: Etapes du traitement de l'eau à domicile

Source : CAWST

Les avantages et les inconvénients de quelques techniques simples de traitement de l'eau à domicile et de conservation durable sont présentés ci-après.

I.3.1 Les techniques de sédimentation

La décantation ou sédimentation est un processus pendant lequel tout élément solide contenu dans l'eau se dépose naturellement ou par ajout de coagulant, au fil du temps, au fond d'un récipient (réceptacle) selon sa granulométrie. Les éléments les plus grossiers décanteront plus vite que les plus fins. Une fois déposées, les particules formées et les micro-organismes qui s'y sont fixés peuvent être retirés facilement.

a- La méthode des trois (3) récipients

Comme son nom l'indique, cette technique s'exécute à l'aide de 3 récipients (jarres ou canaris dans certains pays d'Afrique) (**figure 2**). Elle consiste à réduire la quantité d'impuretés et de germes pathogènes en mettant l'eau dans un récipient, laissant les impuretés se déposer au fond et transvasant l'eau ainsi rendue plus propre dans un second puis un troisième. C'est l'eau du troisième récipient que l'on peut boire. Il est conseillé d'utiliser un tuyau flexible pour siphonner l'eau d'un récipient à l'autre au lieu de le verser simplement pour moins perturber les sédiments. Lorsque le stockage de l'eau dure un (1) à deux (2) jours on peut obtenir une réduction considérable (plus de 50%) des matières solides et des germes pathogènes (Croix rouge/Croissant rouge, 2008). Cette méthode est bon marché, pratique et accessible.

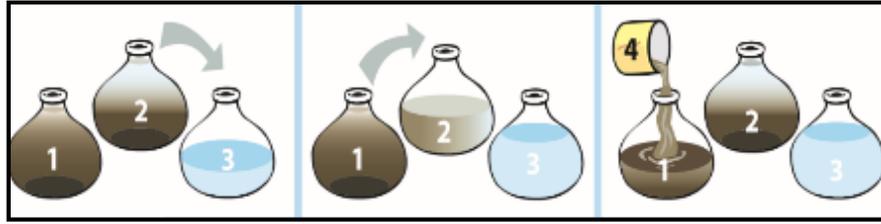


Figure 2: La méthode des trois récipients

Source : Manuel de terrain pour le personnel et les volontaires Croix-Rouge/Croissant-Rouge (2008)

b- La décantation chimique

Elle consiste à utiliser des produits chimiques pour accélérer la décantation des particules. Ces produits agissent ici comme des coagulants qui permettent aux particules solides présentes dans l'eau de former des agrégats qui se déposent plus rapidement du fait de leur poids. Lorsqu'ils se déposent au fond, l'eau devient plus limpide au-dessus. Les principaux coagulants utilisés sont à base d'aluminium et de fer, à savoir le sulfate d'aluminium (Al_2SO_4), le sulfate de fer ($FeSO_4$) et le chlorure de fer ($FeCl_3$) (Désille, 2012). Ils sont commercialisés sous formes de cristaux. Cette technique a un effet durable sur la conservation de l'eau. Néanmoins les produits chimiques restent un peu chers et sont difficiles à utiliser. Cette technique nécessite donc une formation complexe, un respect des dosages indiqués par le fabricant.

c- La purification traditionnelle

Exécutée depuis des siècles par nos ancêtres, la technique de décantation ou de coagulation traditionnelle consiste à mettre dans une eau trouble la racine, les feuilles, la tige, les graines ou l'ensemble d'une plante tropicale pour la purifier, la rendre plus claire ou lui donner un bon goût. Dans certains pays du tiers monde notamment en Afrique, on utilise les morceaux d'écorces de *Boscia senegalensis* qui contient un polymère pouvant agir comme un flocculant (Baumann, 1984). Au Kenya, certains peuples utilisent le mucus de poisson fraîchement pêché pour favoriser la sédimentation. Quant au Chili, c'est le jus de cactus qui est valorisé pour traiter l'eau (Baumann, 1984). Les exemples sont nombreux dans le monde, mais le plus connu reste l'utilisation de la graine de *Moringa Olifeira* (Figure 3). Cet arbre se retrouve dans toutes les régions tropicales et porte le nom de « Arbre du paradis » au Burkina Faso. Ses graines sont broyées puis réduites en poudre avant d'être versées dans l'eau à purifier (Samaro, 2011). En effet, les graines de *Moringa Olifera* contiennent des protéines à caractère polyélectrolyte qui permettent aux particules de former des agrégats. Ce qui débarrasse l'eau des boues, des bactéries ou virus qui sédimentent au fond. Cette plante est parallèlement utilisée en médecine traditionnelle (Annexe 2).



Figure 3: Le fruit, la graine et la feuille du *Moringa Olifera*

Source : www.google.fr

I.3.2 Les techniques de désinfection

La désinfection est l'opération au résultat momentané permettant d'éliminer ou de tuer les micro-organismes et ou virus indésirables présents dans l'eau en utilisant des substances chimiques ou physiques.

a- L'ébullition

Le fait de bouillir de l'eau est une activité traditionnelle connue de tous depuis les temps anciens, pour tuer tous les microbes nuisibles à la santé et au bien-être des hommes. Elle consiste à mettre simplement au feu un récipient rempli d'eau à traiter. Les résultats sont satisfaisants car la plupart des germes pathogènes meurent à 70°C (Désille, 2012). L'eau ainsi traitée peut avoir un goût fade. Pour remédier à cela l'on peut ajouter du sel ou oxygéner l'eau en la secouant dans une bouteille (Croissant rouge/Croix rouge, 2008). L'inconvénient ici, c'est la nécessité d'utilisation de combustibles tels que le bois, le charbon ou le gaz qui peut s'avérer néfaste pour la protection de l'environnement et peut coûter cher dans le cas où la quantité d'eau à traiter est élevée.

b- La désinfection solaire

La désinfection solaire est l'utilisation de l'énergie solaire pour éliminer les agents pathogènes de l'eau à boire. La méthode la plus connue est SODIS (Solar Water Disinfection). Elle consiste à exposer au soleil des bouteilles (PET ou en verre transparent) remplies d'eau à traiter pendant au moins 5 heures (**Figure 4**). Il est préférable que cette eau soit claire (Samaro, 2011) pour optimiser la désinfection. En effet, cette potabilisation de l'eau est assurée par le traitement par

radiation et le traitement thermique. Ce duo d'ultraviolet et de chaleur (hausse de la température) a la capacité de détruire la majeure partie des impuretés et pathogènes. Il est par ailleurs conseillé de peindre les bouteilles en plastique en noir sur la moitié de leur surface ou de les placer sur un toit. Ce traitement est lent et a un effet non durable.



Figure 4: Traitement de l'eau par désinfection solaire

Source : Manuel de terrain pour le personnel et les volontaires Croix-Rouge/Croissant-Rouge (2008)

c- La désinfection chimique

La désinfection chimique consiste à utiliser des produits chimiques pour débarrasser l'eau de boisson de toute impureté et des germes pathogènes. Plusieurs composés chimiques sont utilisés. On compte parmi eux l'iode, le permanganate de potassium et le chlore (OMS, 2012). C'est ce dernier qui est le plus répandu dans les situations d'urgence et on le retrouve sous forme d'eau de javel, de chlorure de chaux ou tablettes de chlore utilisées dans les situations d'urgence. Selon l'OMS, l'eau de boisson doit contenir entre 0,5 mg et 1 mg/l de chlore résiduel libre. Avec une bonne conservation, le caractère rémanent de ce chlore pourra éliminer tout risque de ré contamination de l'eau. Il est nécessaire que l'eau soit prétraitée, car la présence de MES inhibe l'action du chlore. Aussi, le chlore au contact de la matière organique produit des nitrates qui sont cancérigènes pour l'homme lors de la consommation.

I.3.3 Les techniques de filtration

La filtration est une technique connue, utilisée surtout en milieu rural et dans les situations d'urgence. Elle consiste à faire passer l'eau à traiter au travers d'un corps poreux afin que celui-ci retienne les particules solides. Dans cette partie, il sera présenté trois types de filtrations sur différents supports poreux: le tissu, le sable et la céramique.

a- Filtration sur tissu

Dans certaines régions du continent africain, les populations utilisent une nasse (une espèce de passoire tressée traditionnellement avec des fibres végétales) ou des vases poreux. D'autres par contre, utilisent les racines extrêmement fines et enchevêtrées d'une plante qui sont percées de petits trous et placées au fond d'une poterie. Il est obtenu une eau limpide et agréablement parfumé. Plusieurs autres exemples existent mais l'accent sera porté sur la plus courante.

Considérée comme étape préliminaire importante, la filtration sur tissu en coton ou sur nasse élimine souvent une bonne partie des matières en suspension et des larves d'insectes contenus dans l'eau (Croissant rouge/Croix rouge, 2008). Elle est efficace pour les eaux boueuses ou d'apparence sale. Cette filtration rapide est efficace pour éliminer les solides en suspension et facilite le traitement de l'eau à domicile mais ne garantit pas une potabilisation totale.

b- Filtration sur sable

Par définition, cette technique est une méthode d'épuration qui consiste à faire passer l'eau à traiter à travers un lit de sable qui est en mesure de retenir un grand nombre de particules solides et de microorganisme. En effet, elle peut être considérée comme une technique de prétraitement rapide et simple qui rendrait la désinfection de l'eau plus efficace (Croissant rouge/Croix rouge, 2008). Cependant, elle peut être aussi une solution efficace selon la description que fait Baumann (1984), d'un filtre sur sable à filtration lente qui obtient une élimination à 99-99,9% des bactéries pathogènes et des *E. coli*, 100% des kystes, œufs de parasites et larves de schistosomes, 98% des virus et des matières organiques. Par ailleurs, tous se rejoignent, en disant que cette méthode nécessite des couches de sables de différentes granulométries, de graviers et ou de pierres. Aussi, la technique de filtration par sable développe un biofilm qui retient les microorganismes et entraîne souvent leur inactivation et leur dégradation biologique (OMS, 2012). Néanmoins, un nettoyage régulier du filtre est nécessaire pour conserver les capacités de traitement satisfaisant et en assurer une longue durée d'utilisation.

c- Filtration sur céramique

La céramique est utilisée depuis des centaines d'années pour la filtration de l'eau (CAWST, 2009). Au fil du temps, la technique a pu être améliorée afin d'obtenir de meilleurs résultats. Elle consiste à utiliser une céramique poreuse pour éliminer les microbes et autres contaminants de l'eau de boisson (Brown et Sobsey, 2007).

Le filtre en céramique (**figures 5 et 6**) est généralement produit localement avec des matériaux locaux. En effet, plusieurs pays dans le monde tels que le Cambodge, le Nicaragua, l'Inde, le

Népal, le Nigéria, le Bénin, le Ghana et bien d'autres l'ont déjà adopté (Centers for Disease Control and Prevention, 2011). Il est obtenu en mélangeant une certaine quantité d'argile et de matière organique combustible (sciure, balles de riz, enveloppe de café, jute de coco etc...). Le mélange obtenu est posé dans un moule puis pressé; il est passé enfin au four pour la cuisson et cela entrainera la combustion de la matière organique qui laissera des micropores diffusés dans toute la céramique (Roberts 2004; CAWST 2009). Les pores d'un filtre ont généralement un diamètre qui varie entre 0.6 et 3.0 microns (Hagen et al, 2009). La plupart des producteurs imprègnent leurs filtres d'une solution d'argent colloïdale, nécessaire pour atteindre une désinfection complète de l'eau (Roberts, 2004). Cela est confirmé par Hagen et al dans leur rapport de 2009, qui stipule que l'argent est connu pour agir en tant que biocide, capable d'inactiver les bactéries et les virus.

Sur le plan microbiologique, la filtration sur céramique est très efficace contre les bactéries, les protozoaires, les helminthes, la turbidité et aussi pour le goût, la couleur et l'odeur. Par contre elle l'est moins sur les virus (Brown et Sobsey 2006). Aussi, l'efficacité des filtres serait directement liée à la taille des pores du filtre, du débit d'eau qui le traverse et des propriétés physiques de l'eau à traiter.



Figure 5: filtre en céramique

Source : Brown et Sobsey, 2007(Cambodge)



Figure 6: filtre en céramique du Ghana (PHW)

Crédit photo : Elodie BLEU (Ghana, Tamalé)

Chapitre II: Matériels et Méthodes

Dans ce second chapitre, il sera présenté les différentes méthodes adoptées et procédures observées au cours du stage pour la conception et la fabrication des filtres et aussi l'évaluation de leur efficacité en termes de traitement de l'eau de boisson.

II.1- Les activités en atelier céramique

II.1.1 Matériel

Pour la réalisation des filtres, le matériel et les matériaux utilisés ont été trouvés localement et étaient accessibles. Il s'agit de :

- L'argile : c'est le matériau de base du filtre en céramique, et elle provenait de la carrière de la société POCERAM située à 120 km de Ouagadougou (Burkina Faso). Celle qui a été utilisée est de l'argile noire avec une forte plasticité.
- La sciure de bois : elle a été utilisée ici en tant que combustible et provenait des ateliers de menuiseries et tout autre petit commerce exerçant dans le domaine du bois. Elle a été finement broyée (4mm).
- La chamotte : c'est de l'argile cuite et broyée, elle a été tamisée à 4mm.
- La solution d'argent colloïdale : elle a été obtenue lors de la mission au Ghana par le biais de nos hôtes de l'ONG Pure Home Water.
- L'eau.
- L'Huile de carante et gasoil dosé chacun à 50% pour le graissage des moules.
- Une presse électrique à moules de 100 bars
- Des bassines et seaux
- Une éprouvette graduée (500 ml) ayant servi à mesurer les quantités d'eau nécessaires pour les mélanges.
- Une balance pour le pesage des matériaux.
- Sachets / sacs pour la conservation des pâtes.

II.1.2 Méthodes

Pour mener à bien le projet de conception de filtres en céramique, nous avons travaillé avec POCERAM, une structure pionnière depuis 30 ans dans le domaine de l'art de la céramique, située à Ouagadougou. Le travail a consisté à concevoir différents prototypes de filtres avec de l'argile, la sciure de bois et la chamotte. Pour la réalisation de chaque composition proposée, il était question de peser chaque matériau adapté à sa proportion (% d'argile, % de sciure de bois et % chamotte) pour un mélange de 10 kilogrammes.

Le processus (**Figure 7**) suivi pour concevoir les filtres a été le même. Par exemple, pour une composition de 85% d'argile, 5% de sciure de bois et 10% de chamotte il faut peser et renverser dans une bassine 8,5 Kg d'argile, 0,5 Kg de sciure de bois et 1 Kg de chamotte afin d'obtenir un mélange de 10 Kg. Ensuite, de façon manuelle il faut mélanger en ajoutant progressivement de l'eau jusqu'à obtenir une pâte homogène et compacte que l'on garde dans des sachets pendant 2 à 3 jours pour une meilleure humidification afin d'obtenir une bonne plasticité. Tous les mélanges sont codés par des lettres inscrites sur du papier carton. Cette pâte est modelée en boudin de 7kg et passée à une presse à moule pour former le filtre. Une fois le filtre sorti du moule, on y inscrit le code et il est laissé à l'air libre pour séchage pendant 4 à 5 jours. Les produits séchés étaient enfin passés au four pendant 10 à 11 heures à températures de 850-1000°C. Les filtres sélectionnés à la fin sont ceux qui avaient réussi à passer toutes les étapes c'est-à-dire du mélange manuel à la cuisson. Il a été ainsi retenu sept (7) filtres à tester.



Figure 7: Processus de fabrication des filtres en céramique

II.2 La mission dans une structure de fabrication de filtre en céramique : PHW

La mission s'est tenue en juillet 2013 et avait pour objectif de renforcer nos capacités en techniques de conception des filtres destinés à la vulgarisation au sein d'une structure expérimentée : Pure Home Water.

Fondée en 2006, Pure Home Water (PHW) est une ONG de fabrication de filtres en céramique localisée à Tamalé dans le Nord du Ghana. Cette structure œuvre pour offrir de l'eau potable aux populations les plus pauvres du Ghana. Depuis 2012, elle a l'autorisation de distribuer ses filtres dans les communautés villageoises, ce qui réduit les cas de maladies hydriques dans la région.

II.2.1 Le processus de conception des filtres du Ghana

Avec les membres de PHW, nous avons appris les rudiments de la fabrication des filtres dans une usine (**Figure 8**). Les étapes suivies pour la conception proprement dites des filtres est la même que celle que nous avons observé à Ouagadougou lors de notre étude. Cependant, ce sont les balles de riz qui y sont utilisés comme combustible et la cuisson des filtres se fait à 900 °C pendant 9 heures. Cette mission nous a plus permis d'apprendre à juger de la qualité des filtres en céramique.



Figure 8: Etapes de fabrication du filtre en céramique à PHW, Ghana.

Crédit photo : Elodie BLEU (Ghana, Tamalé)

II.2.2 Le contrôle de qualité et les analyses bactériologiques

Lorsque les filtres sont cuits, ils subissent un contrôle de qualité stricte comportant 3 étapes que sont le bubble test, la mesure du débit et l'analyse bactériologique.

Le bubble test (**Figure 9**) est fait pour détecter les fissures dans un filtre. Il consiste à laisser macérer pendant 24 heures, dans un grand bassin rempli d'eau, les filtres. Le lendemain, il faut renverser chaque filtre et les plonger dans l'eau et s'il n'y a pas de bulle qui s'échappe on les garde sinon ils sont automatiquement rejetés.



Figure 9: Le bubble test

Crédit photo : Elodie BLEU (Ghana, Tamalé)

La seconde étape est la mesure du débit (**Figure 10**). Pour ce faire, le filtre est suspendu dans un dispositif au-dessus d'un récipient de 30 litres et est rempli d'eau à traiter. A l'aide d'un T-device, nous avons mesuré après une heure de temps le débit de chaque filtre.



Figure 10: Mesure de débits PHW, Ghana

Crédit photo : Elodie BLEU (Ghana, Tamalé)

Les filtres qui ont un débit supérieur à 2 litres par heure sont conservés et séchés avant d'être imprégnés avec la solution d'argent colloïdale puis emballés pour la distribution. Les filtres en céramique sont ainsi distribués avec des tablettes de chlore pour assurer une bonne désinfection en cas de ré contamination des filtres.

Enfin, pour l'analyse microbiologique (**Figure 11**) un sachet stérilisé était placé en dessous du filtre en céramique pour récupérer directement l'eau traitée afin d'éviter tout risque de contamination. Les échantillons sont ensuite directement acheminés vers le laboratoire pour les analyses.



Figure 11: Echantillonnage d'eau filtrée, PHW Ghana

Credit photo : Elodie BLEU (Ghana, Tamalé)

Cette visite dans la région nord du Ghana au sein de Pure Home Water a été très instructive en ce sens qu'elle a permis d'appréhender tous les contours de fabrication du filtre en céramique dans un contexte africain.

II.3. L'échantillonnage

II.3.1 Le site

Afin d'évaluer l'efficacité de nos filtres en terme de traitement microbiologique, nous avons opté de faire le test de filtration avec de l'eau de puits, une eau de consommation habituelle dans les zones périurbaines et rurales de la ville de Ouagadougou. Les prélèvements ont été effectués à Kamboinsé près du site de la fondation 2IE, localité située à une quinzaine de kilomètres au nord de la ville sur l'axe Ouagadougou-Kongoussi (**Figure 12**).

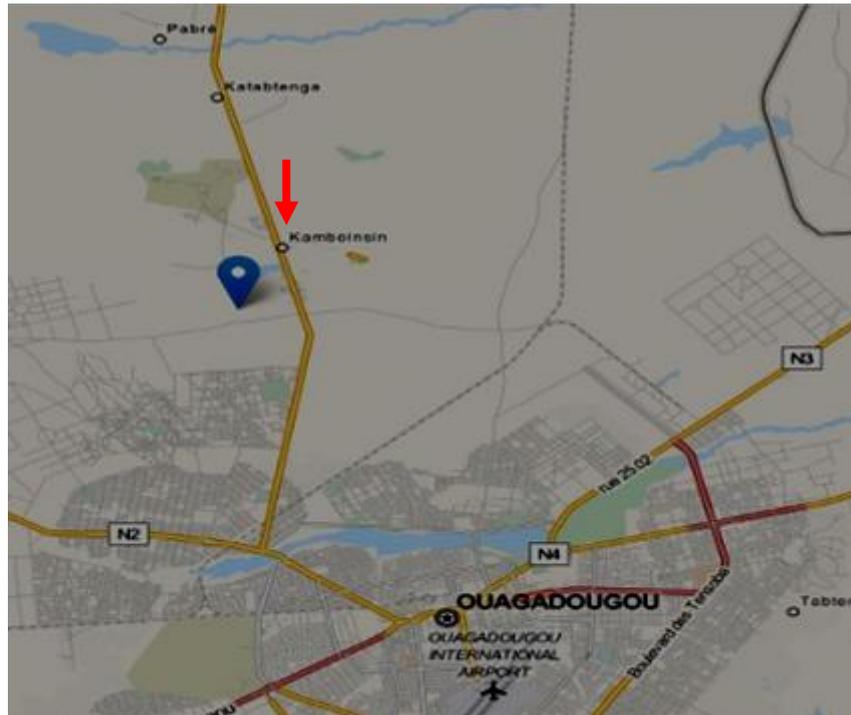


Figure 12: Carte routière Kamboinsé (Google earth 2013)

Deux puits situés à proximité de la mosquée de Kamboinsé ont été choisis pour l'échantillonnage pour leur forte utilisation par les villageois. Ce sont des infrastructures pilotes mis en place par la fondation 2IE pour des expérimentations antérieures qui servent depuis aux besoins des populations.

II.3.2 Matériels de prélèvement

Le prélèvement des échantillons d'eau de puits s'est effectué à l'aide de quatre (4) bidons de 20 Litres et de mallettes de terrain (multi line) pour les mesures des paramètres in situ (température, pH, conductivité, turbidité).

II.4 Les activités en laboratoire

Trois activités majeures ont été menées au laboratoire : l'imprégnation des filtres, le contrôle de qualité des filtres et l'analyse microbiologique des eaux filtrées.

II.4.1 L'imprégnation à la solution d'argent colloïdal

Avant son application, nous avons préparé la solution mère. Pour l'obtenir, 4g d'argent colloïdal ont été pesés puis versés dans 125 ml d'eau distillée. Ensuite, 2 ml de cette solution ont été prélevés puis ajoutés à 300 ml d'eau distillée pour l'imprégnation. A l'aide d'un pinceau, nous avons peint l'intérieur du filtre avec 100 ml de la solution, puis l'extérieur avec 100 ml et enfin une dernière couche à l'intérieur avec les 100 ml restants.

II.4.2 Le contrôle de qualité

Le contrôle de qualité a consisté à faire le bubble test, la mesure de débit et la mesure des paramètres physico-chimiques.

Le bubble test : L'objectif du bubble test est de détecter d'éventuelles anomalies sur les filtres fabriqués telles que les fissures ou toutes autres imperfections. Pour le faire, les techniques apprises au Ghana ont été suivies à la lettre. Les sept filtres choisis ont été laissés dans des lavabos remplis d'eau pendant 24 heures. Ensuite ils ont été retournés puis replongés dans l'eau pour apercevoir ou non des bulles.

La mesure des débits : Avant de mener cette activité, les filtres ont été lavés en les trempant dans de l'eau chaude afin d'éliminer toute contamination antérieure. Pour mesurer le débit, nous avons mis en place un dispositif dans lequel chacun des filtres est emboîté dans un fut en plastique de 30 litres dont le couvercle a été percé soigneusement à la taille du filtre. Un autre couvercle était posé au-dessus des filtres pour recouvrir l'eau. Les filtres étaient remplis de onze (11) litres d'eau, ce qui correspond à la limite de la capacité du filtre. Après une heure écoulée le volume d'eau était mesuré à l'aide d'une règle que nous avons pris soin de graduer selon les volumes par pas de 1 litre.

La mesure des paramètres physico-chimiques : les paramètres qui ont été mesurés à la sortie de chaque filtre sont les mêmes que pour l'eau brute de puits, ce sont : la turbidité, la température, la conductivité et le pH à l'aide des mêmes appareils à savoir un multi paramètres WTW 340i/SET et un turbidimètre WTW.

Aussi, dans un souci d'étude d'un colmatage éventuel des filtres, avons-nous étudié le comportement des matières en suspension (MES) par la méthode de filtration à l'entrée dans l'eau brute et à la sortie dans l'eau filtrée. La formule utilisée pour le calcul de MES est la suivante :

$$\text{MES (mg/l)} = \frac{M1 - M0}{V_e} \times 1000$$

Avec : M_0 : Masse de la membrane avant filtration en mg ;

M_1 : Masse de la membrane après filtration en mg ;

V_e : Volume de l'échantillon utilisé en ml.

II.4.3. Les analyses microbiologiques

Elles ont été effectuées pour visualiser par dénombrement l'efficacité de chaque filtre sur les bactéries précisément sur les coliformes fécaux dont les *E. coli* qui sont des indicateurs de contamination fécale. Il s'agit d'analyser les eaux à l'entrée et à la sortie de chaque filtre par la

méthode de filtration sur membrane. Le matériel utilisé est le suivant :

- Rampe de filtration
- Membrane de filtration de porosité 0,45 µm
- Chalumeau ou bec bunsen
- Pince à épiler stérile
- Boîtes de pétri contenant milieux de culture (chromocult)
- Alcool à 90°
- Incubateur (44°C/ 24 heures coliformes fécaux)

Pour l'analyse des charges bactériologiques, le taux d'abattement a été calculé en pourcentage et en unité logarithmique avec les formules suivantes:

$$R (\%) = \frac{[Pi]-[Pe]}{[Pi]} \times 100$$

R: Taux d'abattement en pourcentage (%)

[Pi] : Concentration du paramètre de l'eau brute

[Pe] : Concentration du paramètre de l'eau filtrée

$$\text{Abattement (u.log)} = -\log_{10} \left(1 - \frac{\text{rendement} (\%)}{100} \right)$$

II.5. Les critères de choix des meilleurs filtres

Afin d'identifier les filtres les plus efficaces nous avons élaboré des critères et des indicateurs qui seront quantifiés. Les critères d'efficacité considérés ici sont essentiellement le débit et le rendement du traitement microbiologique.

En effet, les premiers tests de débits ont été effectués sur les filtres ayant réussi leur cuisson c'est-à-dire avec une cuisson entière du filtre, sans fissure et sans s'être cassé. Ainsi pour être sélectionné, le filtre testé devait avoir un débit supérieur ou égal à 0,5 l/h soit 12 litres par jour. Cette limite a été choisie en considérant que la taille moyenne d'un ménage qui utilise un filtre est de 8 personnes et que le besoin en eau de consommation moyenne est de 1,5 litres par jour et par personne. Ce test a été fait en atelier céramique et nous a permis de sélectionner sept (7) filtres.

Avec cette première sélection d'autres essais pour le débit et des analyses microbiologiques ont été faits en laboratoire. Ainsi pour une seconde sélection, il a été donné un score selon le degré d'efficacité selon chaque critère. Pour le rendement du traitement microbiologique de l'eau nous avons pris en compte les normes de l'OMS sur les degrés de risque selon le nombre de coliformes dénombrés dans un échantillon de 100 ml dans le **tableau 4** (OMS, 1997).

Tableau 4: Directives OMS pour la caractérisation du risque dans l'eau de consommation

Nombre de coliformes thermotolérants (fecaux) ou E. coli par 100 ml d'échantillon d'eau	
0	Conforme aux normes OMS
1-10	Risque faible
10-100	Risque intermédiaire
100-1000	Haut risque
1000+	Très haut risque

Afin de choisir les filtres ayant les mélanges adéquats en termes d'efficacité, nous avons mis en place des critères auxquels des scores ont été attribués. Lors de l'évaluation, les filtres ayant le plus de points ont été choisis comme étant les meilleurs. **Le tableau 5** suivant définit les différents critères de choix et les indicateurs.

Tableau 5: Critères de choix et indicateurs

Débit Litres/heure				
<i>Tranche</i>	≥ 1,5	[1,5 _ 1]	[1 _ 0,5]	< 0,5
<i>Score</i>	3	2	1	0
<i>Appréciation</i>	Excellent	bon	moyen	Faible
Abattement microbiologique %				
<i>Tranche</i>	100%	[99% - 97%]	[97% _ 90%]	<90
<i>Score</i>	3	2	1	0
<i>Appréciation</i>	Conforme aux normes OMS	risque faible	risque intermédiaire	haut risque

Chapitre III : Résultats et Discussion

Ce chapitre mettra en exergue dans un premier temps les résultats des travaux en atelier céramique qui vont présenter les différentes compositions testées et celles retenues pour les analyses microbiologiques, les résultats concernant les paramètres physiques et physico-chimiques et les résultats des analyses microbiologiques en laboratoire.

Ensuite, il sera présenté les analyses critiques et les interprétations de ces résultats tout en les confrontant à ceux de certains travaux similaires.

III.1 Résultats

III.1.1. Les débits

a-Présentation des compositions de filtres testées

Après avoir essayé les sept (7) premières compositions (**Tableau 6**), il a été constaté que seules les compositions dans lesquelles la sciure de bois était inférieure ou égale à 20% étaient réalisables avec une bonne plasticité. Au-delà de 20%, la pâte argileuse est friable et donc inadaptée à la production de filtre. Aussi, avons-nous observé que les mélanges n'étaient pas solides et se cassaient pendant le séchage. Pour y remédier, il a été choisi d'incorporer aux mélanges suivants de la chamotte qui a un caractère solidifiant. Cela a donc permis de mieux affiner la recherche avec une première vague de nouvelles compositions un peu précise en proportion et une seconde encore plus précise. Toutes ces compositions sont répertoriées dans l'annexe 1.

Tableau 6: Proportion d'argile et de sciure de bois pour les premiers tests

Proportion de mélange	
Argile (%)	Sciure de bois (%)
50	50
60	40
70	30
80	20
85	15
90	10

Les prototypes obtenus après les essais sont ceux ayant résisté à la chaleur dans le four. Ceux-ci ont subi un test de débit afin de sélectionner ceux ayant un débit supérieur à 0,5 l/h. Ce sont les compositions de ces derniers qui ont été utilisées pour confectionner plusieurs exemplaires (**Tableau 7**) qui seront utilisés pour les analyses et tests en laboratoire.

Tableau 7: Les filtres sélectionnés pour les analyses en laboratoire

Compositions des filtres			
Code Filtres	Argile (%)	Sciure de bois (%)	Chamotte (%)
A1	93	7	0
B1	90	10	0
B2	90	10	0
B3	90	10	0
C1	80	5	15
C2	80	5	15
D1	85	7	8

Il faut noter ici que les filtres ayant la même lettre pour code ont la même composition en proportion d'argile, de sciure de bois et de chamotte.

b-Le bubble test

Le test n'a révélé aucune fissure ou cassure dans tous les filtres retenus.

c-Évaluation du débit

Les débits de filtration mesurés sur les différents filtres ont varié dans le temps sans toutefois montrer de baisses considérables. Le débit minimal de tous les filtres de 0,10 l/h est mesuré sur le filtre D1 tandis que le débit maximal de 2,5 l/h a été mesuré sur le filtre C1. La **figure 13** ci-dessous montre l'évolution du débit des filtres tout au long des jours d'essais.

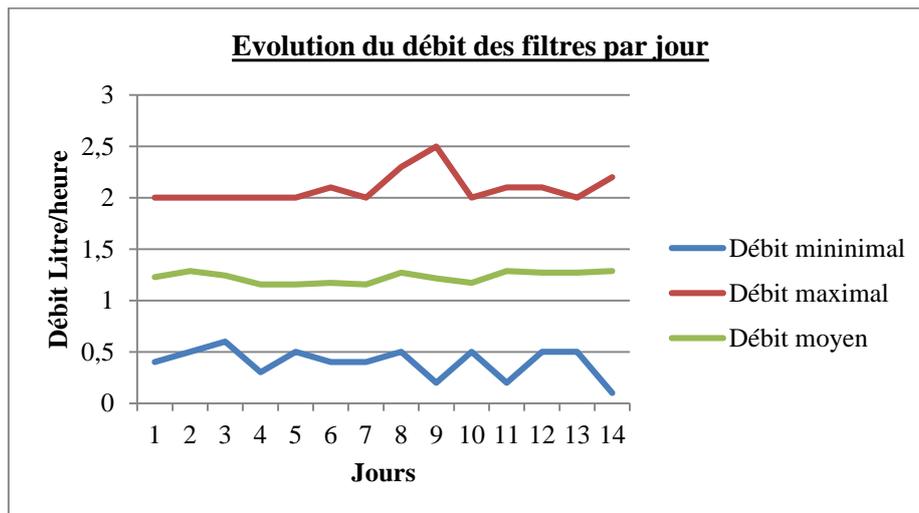


Figure 13: Evolution du débit des filtres par jour (Litre/ heure)

La **figure 14** montre les débits moyens mesurés sur chaque filtre. Les deux débits maximum moyens de 1,81 et de 2,09 l/h ont été mesurés respectivement sur les filtres B1 et C1. Ce qui

contraste avec les plus faibles débits moyens de 0,4 l/h du filtre D1. Les autres filtres montrent des débits moyens supérieurs à 1 l/h. La différence des débits entre les filtres pourrait être liée à la variation de composition en argile, sciure de bois des différents filtres, mais aussi à l'hétérogénéité dans les porosités, notamment en ce qui concerne les prototypes de filtres de même composition.

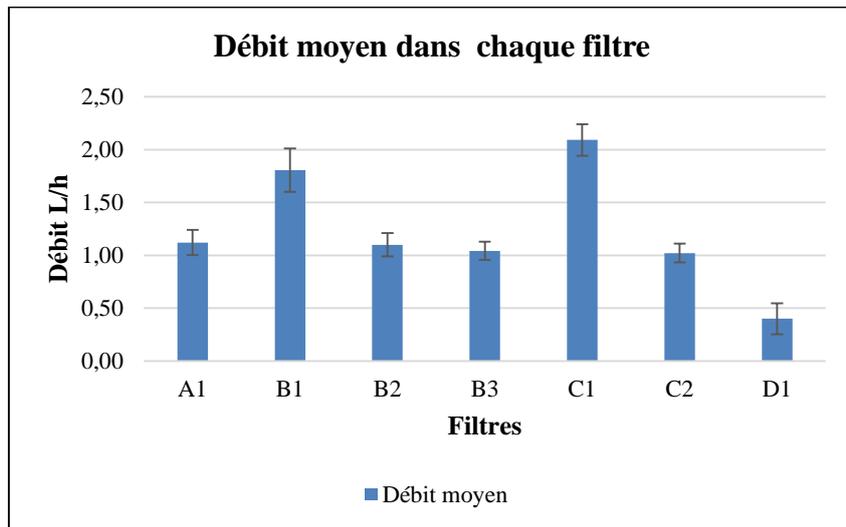


Figure 14: Débit moyen dans chaque filtre

III.1.2 Caractéristiques des eaux brutes

a Les paramètres physico-chimiques

Le pH de l'eau brute prélevé dans le puits varie entre 6,07 et 7,13 (**Figure 15**). Cela montre le caractère neutre du pH de cette eau qui est recommandé (Bontoux, 1993) pour une eau destinée à la production d'eau de consommation

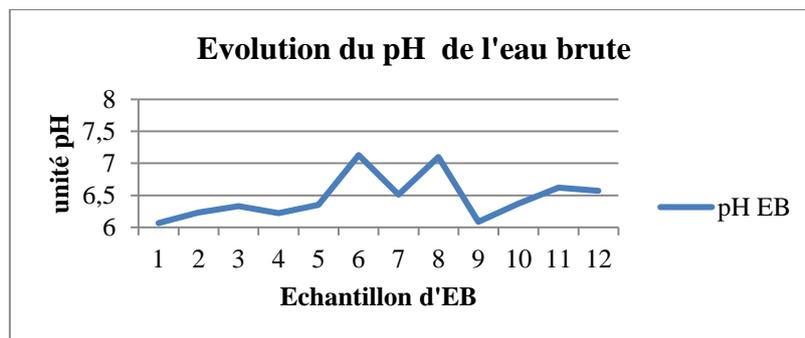


Figure 15: Evolution du pH de l'eau brute

La conductivité de l'eau brute présente une faible augmentation au fil du temps tout en variant entre 150 et 245 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (**Figure 16**). Cela traduit un accroissement des éléments dissous dans l'eau. Ces conductivités restent inférieures aux limites recommandées (1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) pour une

eau destinée à la production d'eau de boisson (Bontoux, 1993)

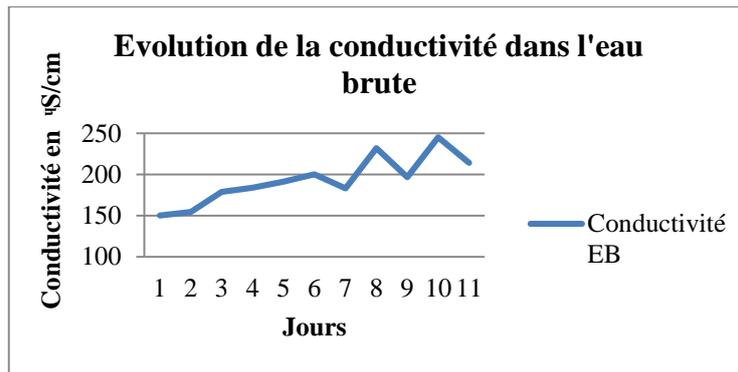


Figure 16: Evolution de la conductivité dans l'eau brute

Les valeurs de la turbidité dans l'eau brute décroissent en général de 21,8 NTU à 4,33 NTU. On remarque par contre sur la courbe (Figure 17) un pic le huitième jour qui traduit une forte turbidité. Cela pourrait être attribué aux intempéries (vent, poussières) ou une contamination quelconque du puits par les usagers.

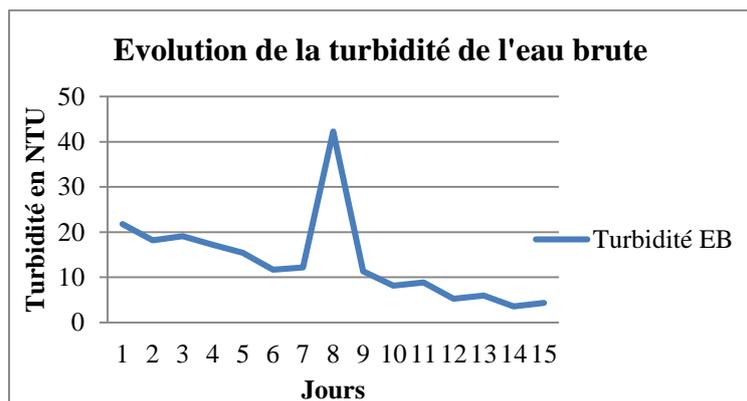


Figure 17: Evolution de la turbidité de l'eau brute

Les échantillons d'eau brute contiennent des matières en suspension dont les concentrations fluctuent fortement entre 0 et 13 mg/l comme le montre la figure 18. Ces concentrations sont faibles comparativement à la limite de 25 mg/l à respecter (référence tableau 2). Cela peut être dû au fait que l'eau de puits, étant souterraine, est moins chargée en matières en suspension que les eaux de surface.

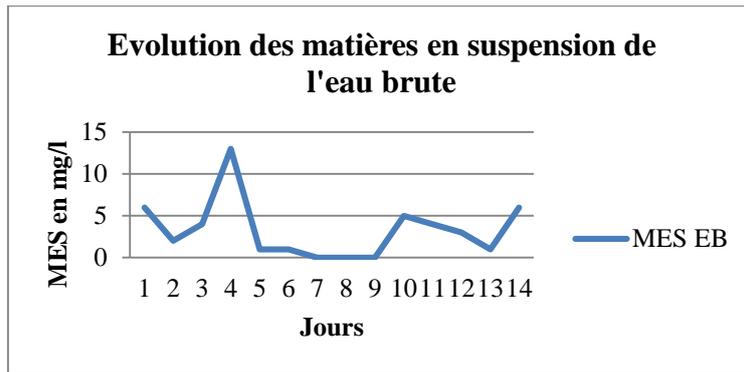


Figure 18: Evolution des matières en suspension de l'eau brute

Les paramètres physico-chimiques sont dans l'ensemble variables et restent convenables pour une eau destinée à la production d'eau potable.

b- Les paramètres bactériologiques

Sur la **figure 19**, les teneurs en coliformes fécaux des eaux brutes oscillent de façon irrégulière entre 155 et 596 UFC/ 100 ml avec une augmentation notable entre le cinquième et le neuvième jour. Cela peut s'expliquer par une éventuelle recontamination fécale de l'eau de puits par les usagers ou les animaux. Notons que ces concentrations sont faibles et répondent ainsi aux normes limites exigées pour la production d'eau de consommation (20 000 UFC/100 ml). Il en est de même pour les concentrations en *E. coli* qui varient en dent de scie entre 0 et 362 UFC/100 ml. Elles restent néanmoins très faibles par rapport aux valeurs limites recommandées par l'OMS.

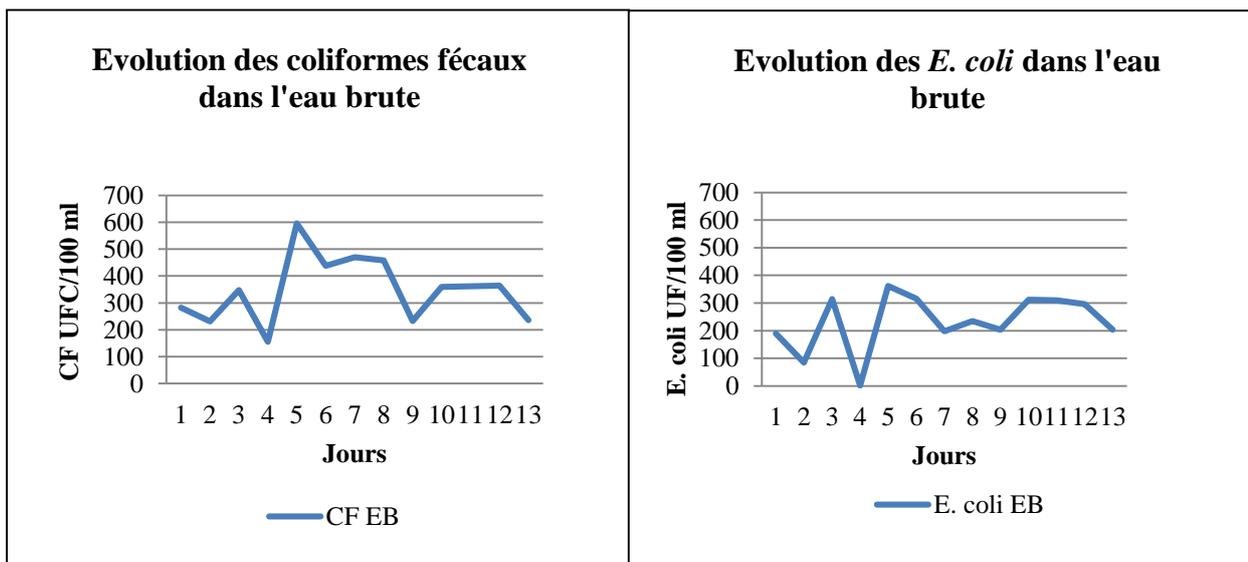


Figure 19: Evolution des coliformes fécaux et *E. coli* dans l'eau brute

III.1.3 Caractéristiques des eaux filtrées

a- Les paramètres physico-chimiques

Le pH moyen (**Figure 20**) varie d'une eau filtrée à une autre. La tendance moyenne évolue entre 7,7 et 8,1 unités pH et permet de dire que le pH des eaux filtrées dans l'ensemble est neutre. Ces données sont acceptables car une eau potable doit avoir un pH neutre pour le bien être des consommateurs.

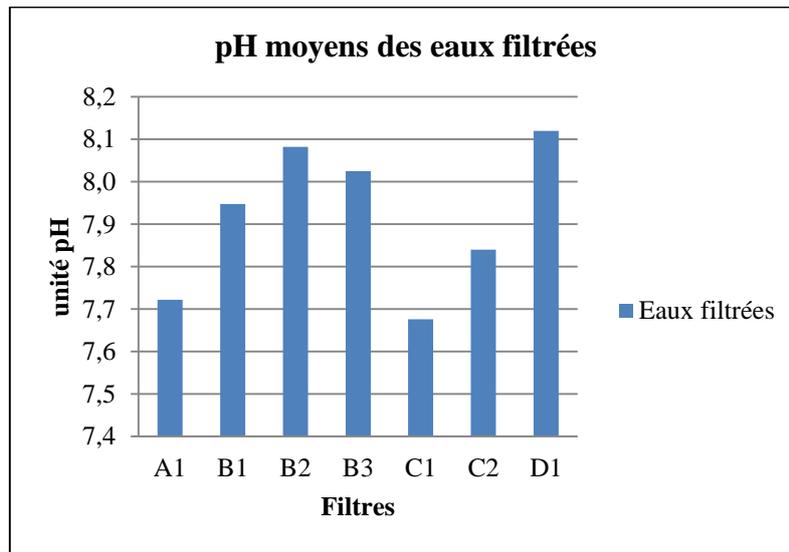


Figure 20: pH moyens des eaux filtrées

Tout comme le pH, les conductivités moyennes sont variables dans les eaux filtrées de chaque filtre. Fluctuant faiblement entre 218,7 et 283,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (**Figure 21**), la conductivité moyenne des eaux sortant des filtres est légèrement faible par rapport la valeur limite recommandée de 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (OMS, 1997) mais peut être acceptable.

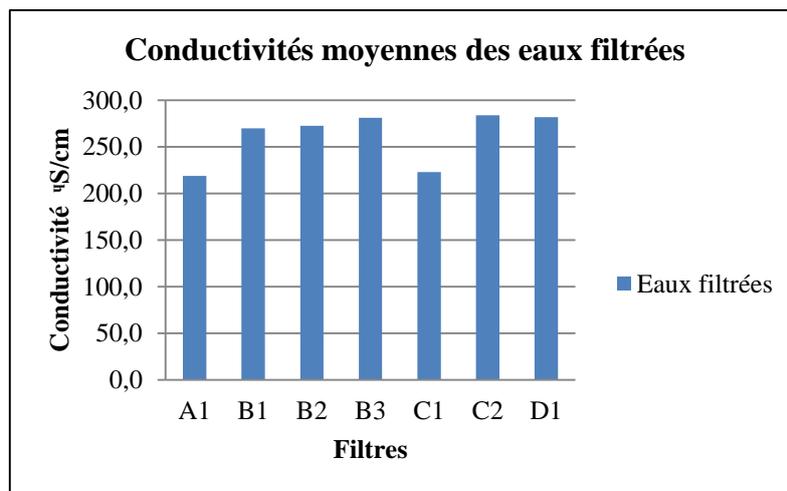


Figure 21: Conductivités moyennes des eaux filtrées

Les turbidités moyennes diffèrent dans chaque eau filtrée. La **figure 22** montre une turbidité

moyenne élevée de 2,41 NTU pour l'eau sortie du filtre C2 par rapport aux autres filtres. Cela peut être dû à des paramètres non maîtrisés tels que la friabilité du filtre qui pourrait augmenter les résidus et la taille des pores qui pourraient laisser passer plus d'éléments en suspension que prévu.

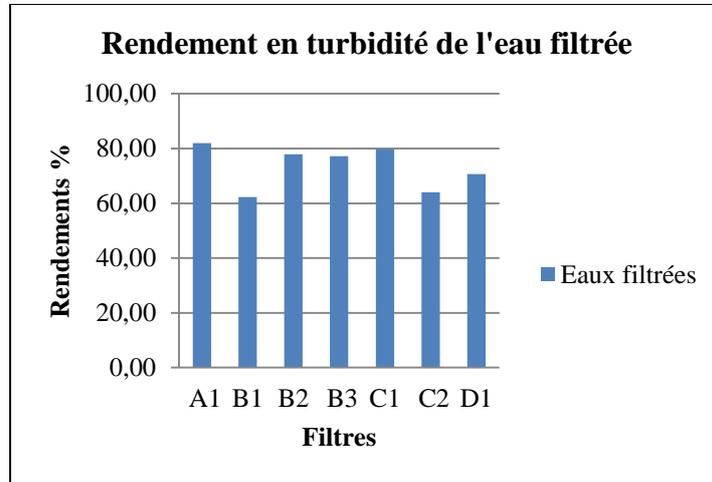


Figure 22: Turbidités moyennes des eaux filtrées

Par ailleurs, les teneurs en matières en suspension sont très distinctes pour chaque filtre mais restent faibles dans l'ensemble. En effet, la **figure 23** indique que les filtres C2, B1, B3 et B2 ne présentent presque pas de matières en suspension dans leurs eaux filtrées. Tandis que la concentration maximale de 1,2 mg/l s'observe sur le filtre A1.

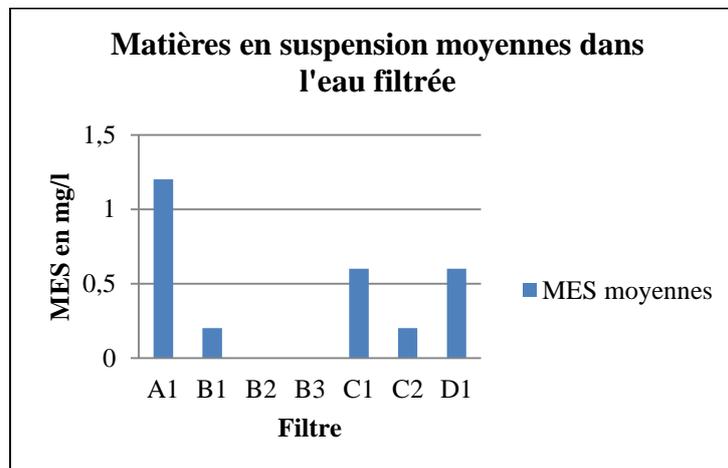


Figure 23: Matières en suspension dans l'eau filtrée

b- Les paramètres bactériologiques

Le dénombrement des coliformes fécaux montrent en général une très faible présence dans les eaux traitées. On observe dans tous les filtres, des teneurs moyennes entre 1 et 3 UFC/100 ml comme l'indique **la figure 24**.

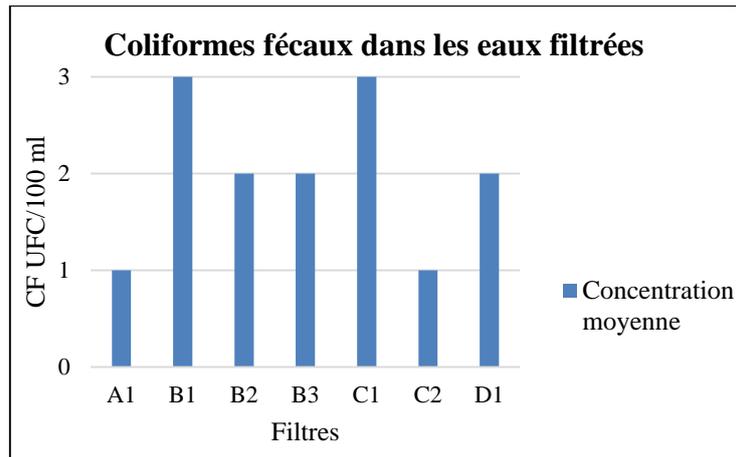


Figure 24: Concentrations moyennes des coliformes fécaux dans les eaux filtrées

La **figure 25** présente les concentrations moyennes d'*E. coli* variant aussi de 1 à 3 UFC. Ces concentrations sont très faibles et peuvent être acceptables pour la consommation humaine.

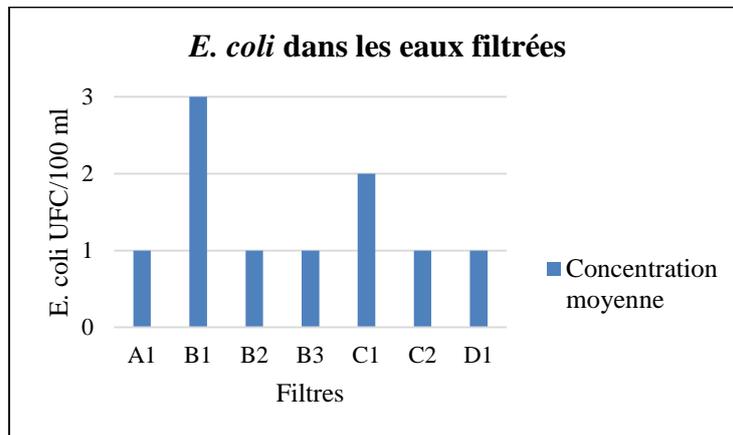


Figure 25: Concentration moyenne d'*E. coli* dans les eaux filtrées

Les paramètres microbiologiques ne répondent pas strictement aux recommandations de l'OMS (indétectable dans 100 ml) mais restent acceptables vu leur très faible présence dans les eaux filtrées.

III.1.4 Efficacité de traitement des filtres

a- Élimination de MES

Les rendements moyens de chaque filtre (**Figure 26**) vont de 68,42% pour le filtre A1 à 100% pour les filtres B2 et B3. Les filtres B2 et B3 sont ainsi les plus performants pour l'élimination des matières en suspension. Les rendements des autres filtres sont supérieurs à 80%. Dans l'ensemble, les filtres ne présentent pas de colmatage après 2 semaines d'utilisation.

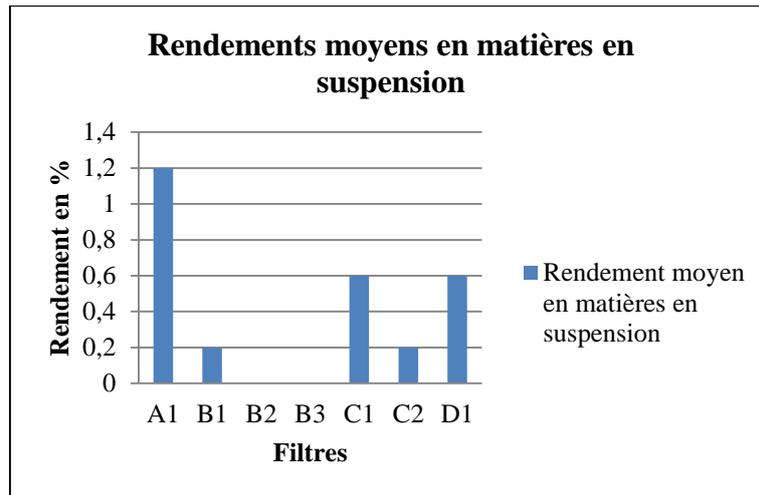


Figure 26: Elimination des matières en suspension

b- Élimination de la turbidité

Les rendements des filtres (**Figure 27**) A1, D1, C1, B3 et B2 sont supérieurs à 70% et les deux autres C2 et B1 sont respectivement de 64,08% et de 62,31%. L'élimination de la turbidité est acceptable pour chacun des filtres car l'eau filtrée contient moins de résidus et est très claire.

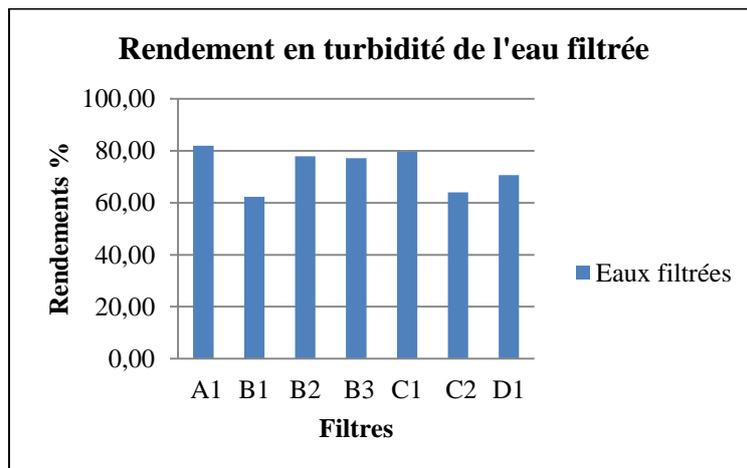


Figure 27: Elimination de la turbidité

c- Élimination des indicateurs de contamination fécale

Comme l'indique la **figure 28**, sur ces 91 échantillons analysés, 100% d'abattement en coliformes fécaux ont été observés sur 54 échantillons, 97% à 99% sur 35 échantillons et 90% à 97% sur seulement 2 échantillons.

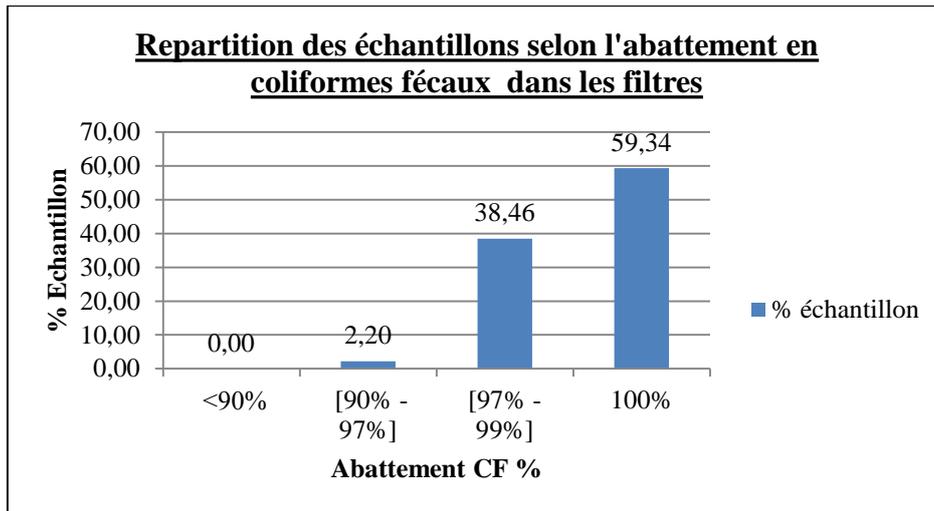


Figure 28: Répartition des échantillons selon l'abattement en coliformes fécaux dans les filtres

L'abattement des coliformes fécaux dans les échantillons d'eau filtrée varie régulièrement sauf entre le cinquième et le dixième jour où on observe de faibles taux d'élimination en dessous de 94% (Figure 29). Cela peut être dû à une recontamination de l'eau filtrée dans le réservoir de stockage.

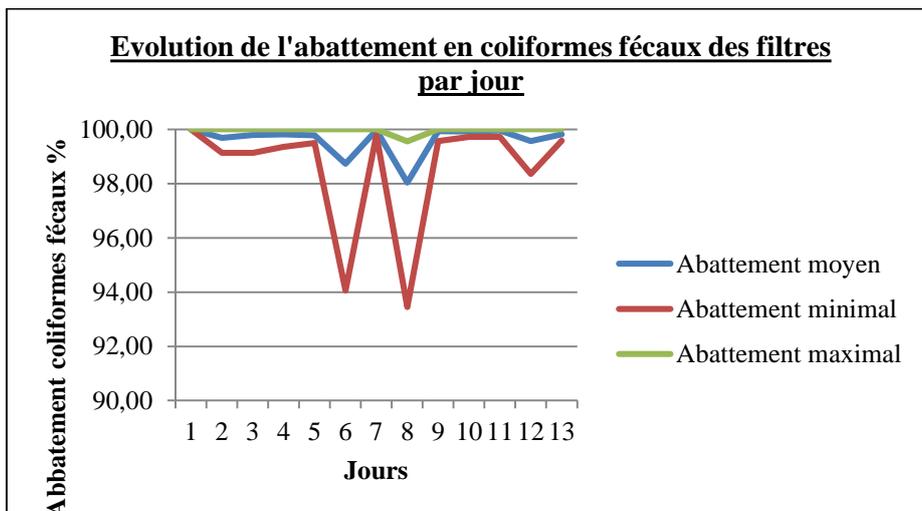


Figure 29: Evolution de l'abattement en coliformes fécaux des filtres par jour

L'abattement moyen des filtres variant ainsi entre 98% et 100% est intéressant du point de vue de la qualité de l'eau à consommer.

Concernant le pouvoir épuratoire de chaque filtre par rapport aux coliformes fécaux (Figure 30), certains filtres étaient bien plus performants que d'autres mais aucun d'entre eux respectent strictement les normes OMS. Celles si stipulent qu'une eau potable ne doit pas contenir d'organismes pathogènes, tout au moins en quantité susceptible de provoquer une contamination même chez les personnes les plus sensibles.

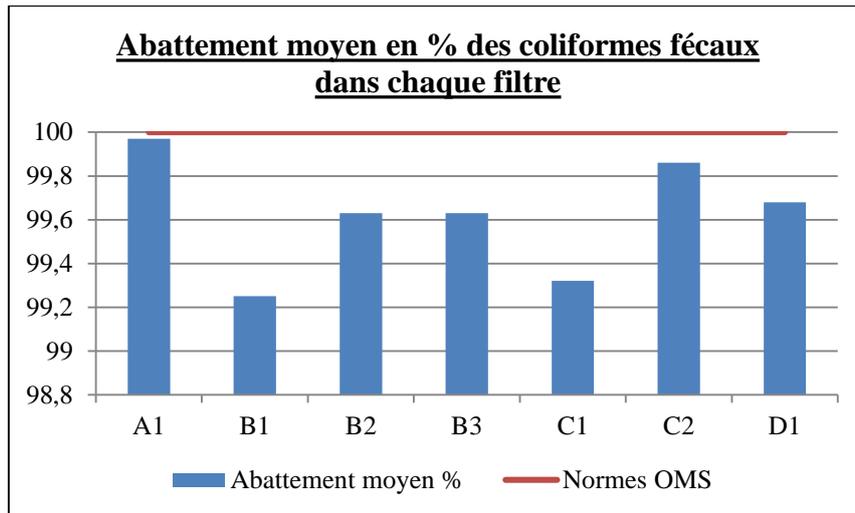


Figure 30: Abatement moyen en pourcentage des coliformes fécaux dans chaque filtre

Les *E. coli* ont été dénombrés sur 91 échantillons correspondant aux eaux filtrées pendant la période d'analyse (Figure 31). Ici, les performances sont sensiblement les mêmes que celles des coliformes fécaux. 57 échantillons ont un taux d'abattement de 100%, 31 autres sont entre 97% et 99%, 2 autres donnent des valeurs entre 90% et 97% et cette fois un échantillon présente une valeur en dessous des 90%.

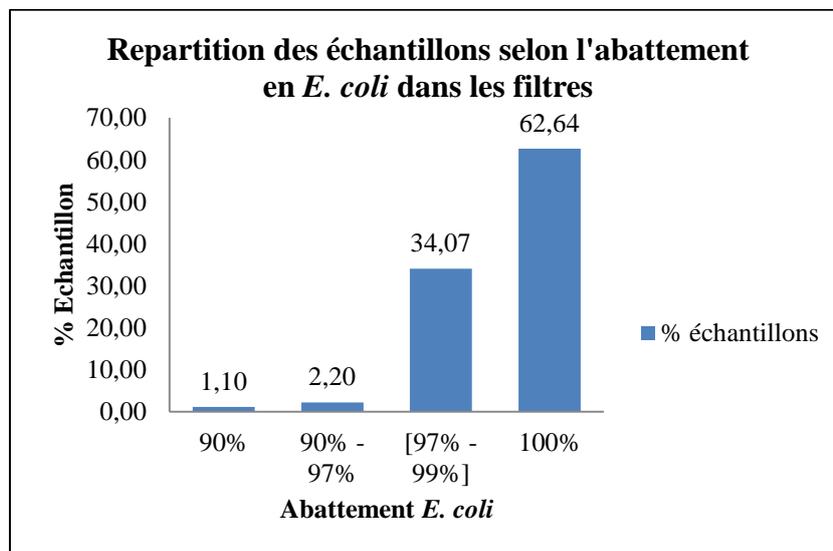


Figure 31: Répartition des échantillons selon l'abattement en *E. coli* dans les filtres

Aussi, l'évolution de l'abattement des *E. coli* dans le temps présente les mêmes tendances que pour les coliformes fécaux. Le rendement épuratoire varie succinctement sauf que pour les *E. coli* (Figure 32), les taux sont faibles en dessous de 90% entre le cinquième et le dixième jour des essais. Ces baisses peuvent être attribuées à une recontamination légère de l'eau filtrée dans les réceptacles.

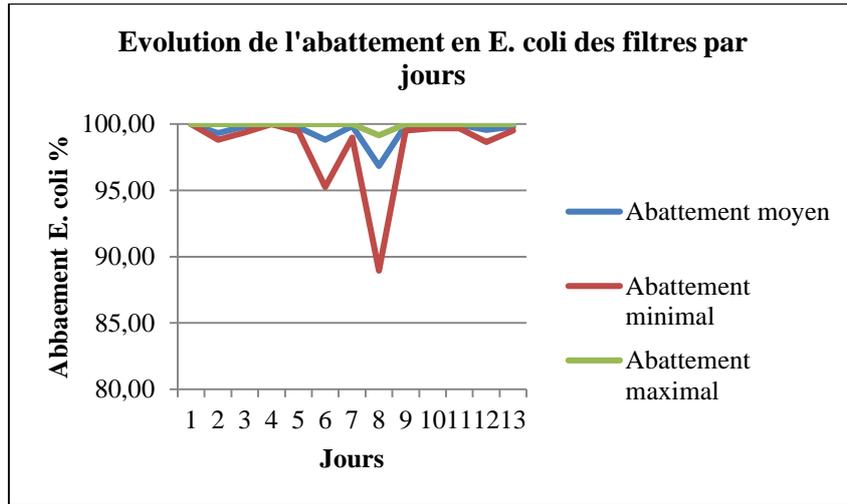


Figure 32: Evolution de l'abattement en *E. coli* des filtres par jours

La même variabilité est observée pour chacun des filtres. La **figure 33** ci-après donne l'exemple du filtre D1 dont les taux d'élimination fluctuent entre 98,5% et 100%.

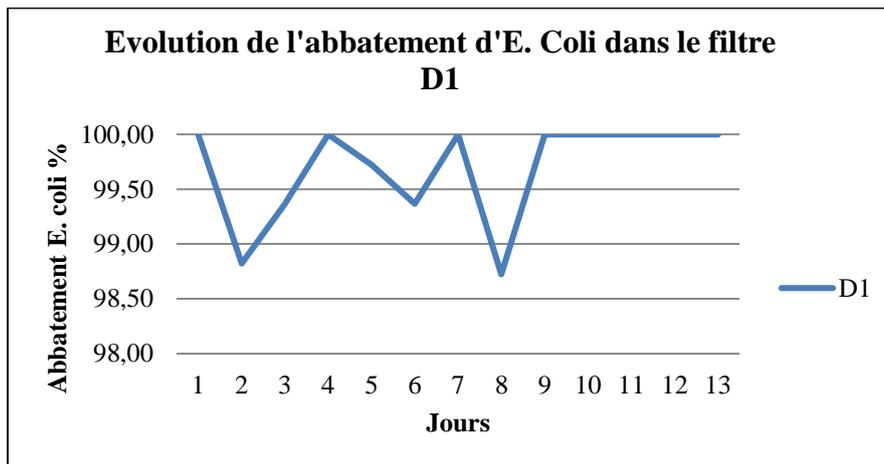


Figure 33: Evolution de l'abattement d'*E. Coli* dans le filtre D1

La comparaison (**Figure 34**) entre tous les filtres permet d'observer une petite augmentation du pouvoir épuratoire des filtres A1, D1, B2 et C2 avec respectivement 99,93%, 99,69%, 99,57 et 99,80% en moyenne.

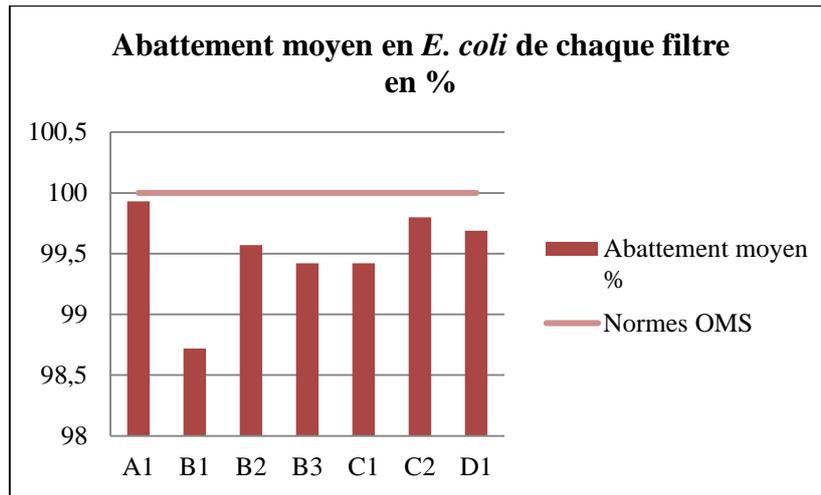


Figure 34: Abattement moyen en *E. Coli* de chaque filtre en %

III.1.5. Choix des filtres les plus efficaces

Dans l'optique de choisir les filtres les plus performants nous nous sommes référés au tableau des critères de choix établis et avons attribué à chacun le score correspondant. Les résultats qui en découlent sont présentés dans le **tableau 8** suivant.

Tableau 8: Evaluation comparative de l'efficacité de chaque filtre

Critères de choix		A1	B1	B2	B3	C1	C2	D1
<i>Débit</i>	Score	2	3	2	2	3	2	0
	Appréciation	Bon	Excellent	Bon	Bon	Excellent	Bon	très faible
<i>Abattement en coliformes fécaux</i>	Score	2	2	2	2	2	2	2
	Appréciation	Risque faible						
<i>Abattement en E. Coli</i>	Score	2	2	2	2	2	2	2
	Appréciation	Risque faible						
Total Score		6	7	6	6	7	6	4

L'évaluation comparative entre les différents filtres montre que les filtres de code B1 et C1 sont les plus performants avec un score de 7 et sont suivis par les filtres A1, B2, B3 et C2 qui présentent chacun un score de 6. Cependant le filtre D1 qui a obtenu un score de 4 ne répond pas aux exigences d'efficacité à cause de son débit de filtration très faible.

Au total 6 filtres sur 7 donnent un débit bon ou excellent et un abattement microbiologique de faible risque pour l'eau de boisson.

III.2 Discussion et Analyses

Dans cette section, il sera présenté les analyses critiques et les interprétations des résultats obtenus en comparaison avec des études effectuées au préalable. Il sera évalué en premier lieu le débit en fonction des filtres et des différentes compositions. En second lieu, il s'agira de confronter les rendements épuratoires des filtres de cette étude et ceux des autres études afin d'en apprécier l'efficacité.

III.2.1 Le débit des filtres

Les filtres produits lors de cette étude offrent un débit moyen de 1,23 l/h. Les valeurs dans l'ensemble varient entre 0,1 et 2,5 l/h. Cette tranche de valeurs rejoint sensiblement celle (0,6 – 2,6 l/h) présentée en 2011 par Shanti Kleiman dans son étude sur les filtres produits dans la région nord du Ghana par Pure Home Water. Par ailleurs, la valeur moyenne de débit obtenue dans notre étude est aussi acceptable car elle se retrouve dans la tranche de valeurs admises par plusieurs études c'est-à-dire entre 1 et 3 l/h (Lantagne 2001 ; Brown 2007). Le **tableau 9** compare les résultats de notre étude et ceux d'autres études antérieures.

Tableau 9: Comparaison entre les débits de l'étude et celles effectuées au Cambodge, au Ghana et au Nicaragua

Producteurs/ Distributeurs de filtres	Débits Litres/heure	Pays	Références
2IE	0,1 - 2,5	Burkina Faso	Bleu, 2013
RDIC (Resource developpement International - Cambodia)	1,5 - 3	Cambodge	Hagen et al, 2009
Pure Home Water	0,6 - 2,6	Ghana	Shanti Lisa Keiman, 2011
Pure Home Water	0,1 -9	Ghana	Travis Miller, 2010
Ceramic Water Purifer (CWP)	0,2 _ 3	Cambodge	Roberts, 2004
Ceramic Water Purifer (CWP)	1 _ 3	Cambodge	Joseph Brown, 2007
Potters for Peace	1 _ 3	Nicaragua	Daniele Lantagne, 2001

Comme l'indique ce tableau 9, les valeurs minimales et maximales de notre étude restent légèrement inférieures aux autres. Cela pourrait s'expliquer en partie par le fait que le combustible utilisé n'est pas le même. La plupart des études menées sur les filtres utilisent les balles de riz comme combustible entrant dans la composition du filtre contrairement à la sciure de bois utilisée dans cette étude

Par ailleurs, les graphes de la **figure 35** permettent de comparer les filtres en fonction de leurs proportions d'argile, de sciure de bois et de chamotte. En effet, en comparant les filtres de compositions différentes, nous observons que par exemple le filtre A1 composé de 7% de sciure de bois a un débit moyen de 1,12 l/h nettement inférieur à celui du filtre C1 (2,09 l/h) qui se compose de seulement 5% de sciure de bois. Ainsi, le filtre ayant la proportion en sciure de bois plus faible est celui qui donne un meilleur débit contrairement à l'hypothèse selon laquelle le débit augmente avec la proportion de sciure de bois dans le mélange. Cela permet de dire que nous n'observons pas d'impact de la sciure de bois sur le débit de filtration des filtres. Par ailleurs, les filtres ayant les mêmes compositions tels que B1 et B2 obtiennent respectivement 1,81 l/h et 1,1 l/h. Cette différence amène à conclure que les filtres de mêmes compositions peuvent aussi avoir des débits différents. Néanmoins, cela peut être attribué à une hétérogénéité du mélange ou une cuisson incomplète du filtre.

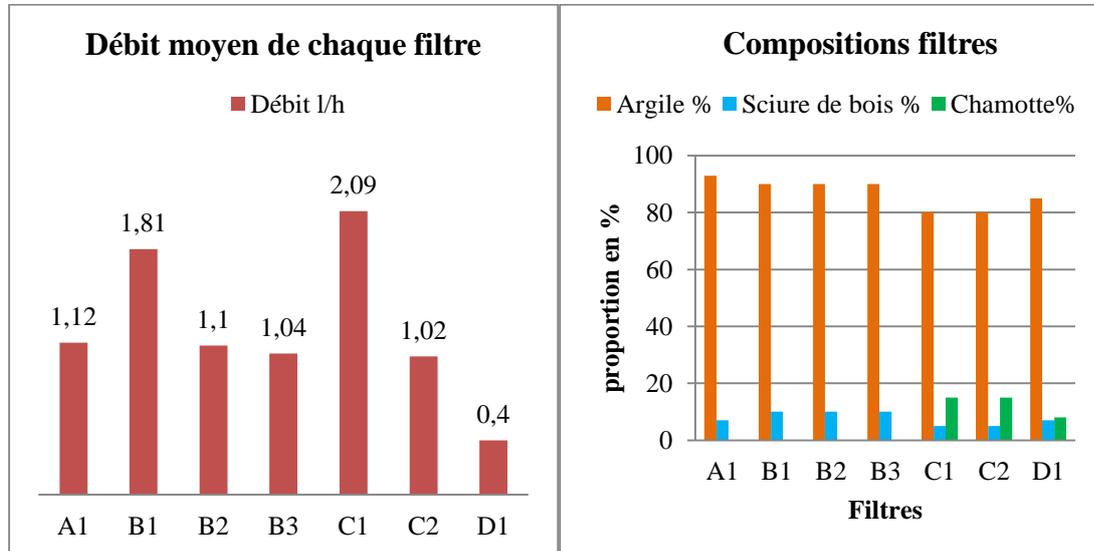


Figure 35: Débits et compositions des filtres

III.2.2 L'abattement en coliformes fécaux

Concernant le rendement épuratoire en coliformes fécaux, les valeurs varient entre 2,2 et 3,47 u.log avec une moyenne de 2,57 u.log. Cette élimination est acceptable car elle est supérieure à 1 u.log, qui est la valeur de réduction logarithmique en dessous de laquelle le traitement des

coliformes fécaux n'est pas efficace (Brown et Sobsey, 2011). Aussi, au regard de la concentration résiduelle dans l'eau qui varie de 0 à 30 UFC/100 ml avec une moyenne générale de 1 UFC/100 ml, le risque de contamination dans l'eau est faible. Le taux d'abattement à la sortie de chaque filtre fluctue faiblement. Le filtre A1 (Argile : 90%, Sciure de bois : 10%) se distingue des autres avec un taux de 99,97%. Cela confère à ce filtre une bonne performance en matière de traitement microbiologique et ainsi un faible risque de contamination des consommateurs. Cependant, il est difficile dans ce cas d'établir un lien entre la composition du filtre et son pouvoir épuratoire car les résultats diffèrent d'un filtre de même compositions à d'autres de compositions différentes. Cela pourrait s'expliquer par une hétérogénéité du mélange ou une mauvaise cuisson. En effet, le mélange manuel des matériaux pourrait ne pas permettre une homogénéisation optimale de la pâte. Aussi, la cuisson pourrait-elle être partielle et donc réduire la porosité qui est importante pour une bonne filtration.

III.2.3. L'abattement en *E. coli*

La concentration résiduelle varie entre 0 et 26 UFC/100 ml avec une moyenne de 1 UFC/100 ml. Le risque de contamination est ainsi faible dans les filtres. L'évolution du taux d'abattement en *E. coli* au fil du temps varie de façon régulière entre 1,89 et 3,18 u.log avec une moyenne de 2,45 u.log. Ces résultats se rapprochent bien de ceux trouvés par certaines études telles que celle de Shanti Kleiman en 2011 dans laquelle, elle trouve une élimination en *E. coli* entre 0,5 et 2,7 u.log.

La **figure 36** ci-dessous met en évidence une comparaison des résultats de l'étude avec ceux de Jonhson (2008), Kallman et Smith (2009) et Kleiman(2011). Il apparait que les abattements en *E. coli* observés dans la présente étude sont presque similaires à ceux des études menées par d'autres auteurs. Les taux d'élimination bactériologique des filtres sont ainsi conformes à ceux observés dans d'autres études sur les filtres en céramique.

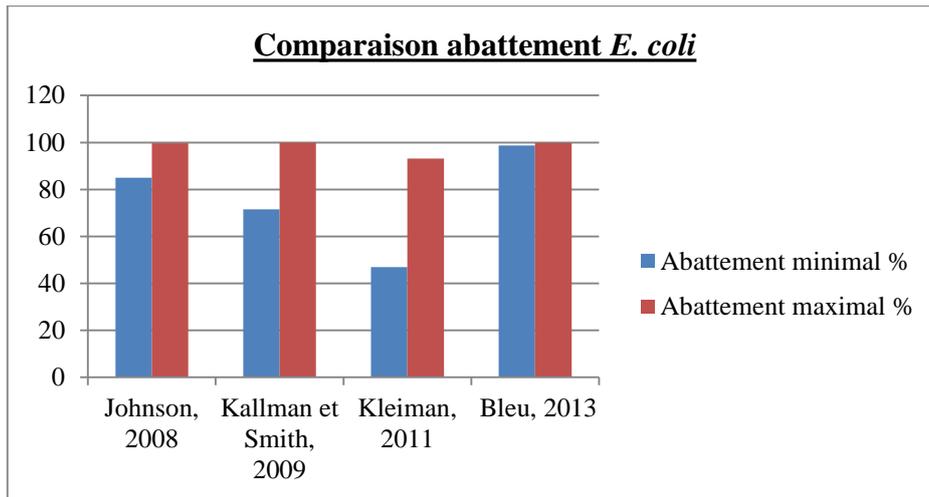


Figure 36: Comparaison du taux d'abattement en *E. coli* avec d'autres études

Cela confirme que l'efficacité des filtres en céramique en termes de traitement de l'eau est fonction du type d'argile utilisé, du type de sciure de bois ou même de la bonne application de la solution d'argent colloïdal.

III.3 Le choix du filtre

Le choix ici s'est porté sur six filtres qui ont de bons débits pour la plupart avec un abattement en coliformes fécaux et *E. coli* de risque faible.

Le filtre D1 (argile : 85%, sciure de bois : 7% et chamotte : 8%) comptabilise le score le plus faible du fait de son faible débit qui ne saurait répondre aux besoins d'une famille. Ce faible débit peut être dû à une mauvaise homogénéisation ou à une mauvaise cuisson. C'est donc le seul qui a été éliminé après les tests.

Par ailleurs, parmi tous les six filtres restants, le filtre C1 (**argile : 80%, sciure de bois : 5%, chamotte : 15%**) reste le plus performant avec un débit moyen de **2,09 L/h**, un taux d'abattement moyen en coliformes fécaux de **99,32%** et un taux d'abattement moyen en *E. coli* de **99,42%**. Il serait tentant de dire que la chamotte aurait un impact positif sur l'un des critères d'efficacité qui est le débit en raison de son fort taux dans la composition de ce filtre. Cependant même si cela s'avérait exact, l'utilisation de la chamotte est problématique du fait de sa disponibilité non perpétuelle dans les usines de fabrication. Il faudra donc dans ce cas songer à la remplacer par un autre matériau ayant les mêmes propriétés à savoir la latérite ou une argile plus dure.

Conclusion

Cette étude expérimentale, qui a consisté à concevoir et à évaluer l'efficacité des filtres en céramique, a permis de mieux cerner les avantages et les limites de cette technique de traitement de l'eau à domicile. En effet, la conception proprement dite des filtres est un domaine qui requiert une discipline et une rigueur dans la préparation des mélanges, la mise à la presse, le séchage, la cuisson et l'application de la solution d'argent colloïdal. L'objectif de notre étude a été d'essayer différentes compositions afin de connaître le ratio qui permettrait d'obtenir un filtre performant en termes de débit et de traitement microbiologique des eaux.

Au terme des essais, six types de filtres se sont distingués par leurs débits adaptables aux besoins d'une famille, débits variant moyennement entre **1,02** et **2,09** Litres par heure. Aussi, aucun lien n'a été observé entre la proportion en sciure et le débit car certains filtres qui avaient une proportion en sciure de bois de **5%** avaient un débit nettement supérieur à d'autres qui avaient une proportion en sciure de bois de **10%**. Cela infirme notre première hypothèse qui soutenait que le débit varie avec le pourcentage de sciure de bois dans la composition. Cependant il faut noter que cela a pu être biaisé par des paramètres extérieurs incontrôlables; notamment une mauvaise homogénéisation du mélange et une mauvaise cuisson de la céramique.

D'un autre côté, les résultats de l'analyse microbiologique se sont avérés satisfaisants car les taux d'abattement en coliformes fécaux et en *E. coli* ne répondaient certes pas aux normes OMS des eaux de consommation mais offraient un risque faible de contamination. En outre, le taux d'abattement moyen en coliformes fécaux et en *E. coli* est supérieur à **99,50%**. Cette valeur s'apparente bien à celles trouvées dans certaines études faites sur les filtres en céramique et est parfois meilleure par rapport aux résultats dans d'autres travaux de recherche. Ces informations permettent ainsi de confirmer la deuxième hypothèse car les filtres en céramique ont améliorés la qualité bactériologique de l'eau à traiter

Cette étude a été faite sur la base de matériaux locaux à savoir l'argile, la chamotte et la sciure de bois. Tandis que dans la plupart des autres études retrouvées dans la littérature le combustible le plus utilisé est plutôt la balle de riz qui selon certains chercheurs est la mieux adaptée car elle permet d'obtenir de meilleurs débits. Aussi, l'utilisation de la chamotte a des limites car n'étant pas une matière première, elle risque d'être indisponible à long terme Il serait donc intéressant pour toutes ces raisons de continuer à mener les recherches approfondies vers d'autres alternatives.

Dans l'ensemble, retenons qu'au vu de cette première expérience, le filtre en céramique qui

a prouvé son importance dans plusieurs pays dans le monde, peut être utilisé aussi au Burkina Faso dans l'optique de combattre ces maladies diarrhéiques qui sévissent dans le pays.

Recommandations – Perspectives

Cette étude sur les filtres en céramique a été une bonne initiative qui devrait permettre d'aboutir à un cadre de production et de distribution pour l'amélioration de la santé des populations Burkinabés. Pour ce faire, plusieurs points sont à prendre en considération.

En effet, pour la conception des filtres en céramique nous recommandons:

- de mener au préalable une étude sur les propriétés des argiles locales afin de déterminer celles qui sont utilisables dans la fabrication des filtres.
- de conduire une autre étude comparative entre plusieurs combustibles locaux (sciure de bois, balles de riz, coques d'arachide... etc) pour déterminer les plus adaptés.
- de tester la géothite ou le sable (latérite) qui pourrait être ajouté au mélange pour une meilleure perméabilité du filtre et aussi un meilleur traitement des bactéries et virus. Cela a été recommandé par certaines études dont celle de Brown et Sobsey sur la réduction des virus dans l'eau potable.
- de refaire cette même étude avec l'eau de surface sur une période plus longue c'est-à-dire 6 mois, 1 an ou 2 ans en intégrant les populations visées pour une meilleure amélioration.

Pour l'amélioration de l'efficacité du filtre nous proposons de :

- Associer les filtres en céramique au pouvoir désinfectant du soleil dont le Burkina regorge en concentrant la chaleur vers l'eau à traiter. Il faudra donc élaborer un système qui permettra de désinfecter l'eau en concentrant la chaleur du soleil vers l'eau dans le filtre. Cela permettra concomitamment de nettoyer le filtre et de prévenir un éventuel colmatage.

Bibliographie

Ouvrages et articles

2IE (2011), Techniques analytiques pour l'eau, Cours.

Baumann W. (1984), Technologies simples pour l'approvisionnement en eau dans les pays en voie de développement, Article, 227-238.

Bontoux J. (1993), Introduction à l'étude des eaux douces: eaux naturelles, eaux usées, eaux de boisson QUALITE et SANTE.

Brown J. (2007), Effectiveness of Ceramic filtration for drinking water treatment in Cambodia, thèse de doctorat, University of North Carolina, Chapel Hill, 13, 51-106.

Brown J. et Sobsey M. (2006), Independent Appraisal of Ceramic Water Filtration Interventions in Cambodia: Final Report, *submitted to UNICEF-Cambodia*.

Brown J. et Sobsey M. (2011), Evaluating household water treatment options: health based targets and microbiological performance specifications. World Health Organisation.

Centers for Disease Control and Prevention (2011), Best Practice Recommendations for Local Manufacturing of Ceramic Pot Filters for Household Water Treatment, First Edition.

Centers for Disease Control and Prevention (2011), Best Practice Recommendations for Local Manufacturing of Ceramic Pot Filters for Household Water Treatment, The Ceramics Manufacturing Working Group, First Edition.

Centre for Affordable Water and Sanitation Technology (2009), Household Water Treatment and Safe Storage Factsheet: Ceramic Pot Filter.

Clasen T. et Boisson S. (2003), Household-Based Ceramic Water Filters for the Treatment of Drinking Water in Disaster Response: Assessment of Pilot Programme in Dominican Republic, Article.

Désille D. (2012), Conservation et traitement de l'eau à domicile, Guide pratique pS-Eau.

Fédération international des Sociétés de la Croix-Rouge et du Croissant-Rouge (2008), Traitement et stockage sûr de l'eau à domicile dans les situations d'urgences, *Manuel de terrain pour le personnel et les volontaires Croix-Rouge/Croissant-Rouge*.

Institut National de la Statistique et de la Démographie (2011), Enquête démographique et de santé et à indicateurs multiples (EDSBF-MICS IV), Rapport préliminaire, Burkina Faso

Johnson M. (2007), Health and Water Quality Monitoring of Pure Home Water's Ceramic Filter Dissemination in the Northern Ghana, these, Massachusetts Institute of Technology, Etats unis.

- Kleiman S. (2011), *Ceramic Filter Manufacturing Ghana: Water Storage and quality Control*, Mémoire de recherche, Massachusetts Institute of Technology, Etats Unis.
- Lalanne F. (2012), *Etude de la qualité de l'eau le long de la chaîne d'approvisionnement au niveau des consommateurs dans 10 villages de la Province du Ganzourgou (Région du Plateau Central, Burkina Faso)*.
- Lantagne D. (2001), *Investigation of Potters for Peace Colloidal Silver Impregnated Ceramic Filter*, article, *USAID Report 1: Intrinsic Effectiveness*.
- Miller T. (2010), *Optimizing Performance of Ceramic Pot Filters in Northern Ghana and Modeling Flow through Paraboloid-Shaped Filters*, Mémoire de recherche, Massachusetts Institute of Technology, Etats unis.
- Monbokounou G. (2010), *Techniques de traitement de l'eau à domicile: Evaluation de l'efficacité des filtres en céramique*, Mémoire de master, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, Burkina Faso.
- OMS (1997), *Guidelines for drinking water quality*, 2nd Edition, World Health Organization: Geneva.
- OMS (2012), *Evaluation des options de traitement domestique de l'eau: cibles sanitaires et spécifiques portant sur les performances microbiologiques*.
- OMS (2013), *Statistiques Sanitaires Mondiales*, Publication.
- OMS et UNICEF (2013), *Progress on sanitation and drinking water*, JMP Report
- OMS/ Réseau international pour le traitement et la bonne conservation de l'eau à domicile (2007), *Combattre les maladies véhiculées par l'eau à la maison*, 7-13.
- Oyanedel-Craver V. A., Kallma E. et Smith J. A. (2009), *Field Evaluation of Locally Produced Silver-Impregnated Ceramic Filters for Point-Of-Use Water Purification in San Matéo Ixtatán, Guatemala*, *Water Environment Federation*.
- Oyanedel-Craver V. et Smith J. (2007), *Sustainable Colloidal-Silver-Impregnated Ceramic Filter for point of use Water Treatment*, ACS publications Environmental Science and technology, 42, 927-93.
- Resource Development International – Cambodia, Engineers Without Borders Australia (2009), *Ceramic Water Filter Handbook*, Publication.
- Roberts M. (2004), *Field test of silver-impregnated ceramic water filter*, 30th WEDC International Conference, Vientiane, Lao PDR, 494-503.
- Samaro Bimounam-Brèw (2011), *Evaluation des techniques traditionnelles de traitement de l'eau au Togo: Cas de quelques villages périphériques de Notse (prefecture de Haho)*, Université de Lomé, Togo.
- Water and Sanitation Program/ UNICEF (2007), *Improving Household Drinking Water Quality: Use of Ceramic Water Filters in Cambodia*, Field Note.

WELL, G. Folkard, J. Sutherland, R. Shaw, Water clarification using Moringa oleifera seed Coagulant, *technical briaaf* #60.

Sites internet

<http://www.afrique7.com/societe/959-afrique-1%E2%80%99assainissement-en-eau-potable.html> , 25 Mars 2013

<http://www.un.org/africarenewal/fr/magazine/october-2007/de-1%E2%80%99eau-pour-les-plus-pauvres> 27 mars 2013

<http://pnud.bf/FR/eaup.html> 27 Mars 2013

http://www.unicef.org/french/wash/index_53133.html 09 avril 2013

<http://www.antenna.ch/recherche/eau-potable/approche-watasol> 09 avril 2013

<http://www.wikiwater.fr/e15-methodes-a-usage-familial-pour.html> 10 /05/2013

http://static.canalblog.com/storagev1/naturendanger.canalblog.com/docs/280106_L_eau_pre_mi_re_cause_de_mortalit_dans_le_monde.pdf 20/05/2013

<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/fr/> 20/05/2013

<http://www.azdhs.gov/phs/oids/epi/disease/waterborne/list.htm> 16/09/2013

Annexes

Sommaire des annexes

Annexe 1: Récapitulatif des compositions essayées pour la conception des filtres en céramique	B
Annexe 2: Plantes utilisées à la fois come agents de floculation et comme traitement, en médecine traditionnelle, des maladies transmises par l'eau	C

Annexe 1: Récapitulatif des compositions essayées pour la conception des filtres en céramique

		Composition pour 10 Kg de mélange pour un (1) filtre		
Premier essai	Code Filtre	Argile (%)	Sciure de bois(%)	Chamotte(%)
	T1	50	50	0
	T2	60	40	0
	T3	70	30	0
	T4	80	20	0
	T5	85	15	0
	T6	90	10	0
deuxième essai	M1	75	5	20
	M2	80	20	0
	M3	85	15	0
	M4	90	10	0
	M5	80	5	15
	M6	85	5	10
	M7	80	10	10
	M8	85	10	5
	M9	80	15	5
	M10	75	15	10
troisième essai	M11	80	7	13
	M12	75	8	17
	M13	85	6	9
	M14	80	6	14
	M15	90	5	5
	M16	80	8	12
	M17	85	9	6
	M18	85	7	8
	A1	93	7	0
	A2	95	5	0
	A3	97	3	0
	A4	99	1	0

Annexe 2: Plantes utilisées à la fois come agents de floculation et comme traitement, en médecine traditionnelle, des maladies transmises par l'eau

Espèces	Symptômes	Préparation	Pays
<i>Acacia catechu</i>	Diarrhée	Extrait résineux du bois	Inde
<i>Acacia scorpioides</i>	Dysentérie	Ecorce bouillie	Sénégal
<i>Blepharis persica</i>	Maux d'estomac	Infusion de la plante dans sa totalité	Soudan
<i>Boscia</i>	Désordres intestinaux	Feuilles séchées dans lait caillé, racines, écorce	Sénégal
	Schistosomiase	Ecorce moulue dans soupe de farine de mil	Niger
<i>Faba vulgaris</i> (<i>Vicia faba</i>)	Désordres gastriques	Fèves grillées	Maroc
	Dysentérie	Farine de fèves	Grèce antique
<i>Moringa oleifera</i>	Désordres gastro-intestinaux	Infusion de graines moulues avec du café abyssinien	Soudan
		Infusion de graines	Niger
<i>Pongamia glabra</i>	Diarrhée	Graines moulues dans lait caillé	Tchad
	Parasitoses intestinales et cutanées	Graines	Inde
<i>Strychnos potatorum</i>	Diarrhée chronique	Broyer une graine ou demi-graine, l'incorporer à du beurre	Inde
	Infections des yeux, furoncles	Graines moulues dans du miel	