

**AMELIORATION DE LA DESINFECTION SOLAIRE DE L'EAU
DE CONSOMMATION PAR PHOTO-FENTON**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
OPTION : Eau**

Présenté et soutenu publiquement le vendredi 17 juin 2011 par

Hétchéli Oma Latékoé LAWSON

Travaux dirigés par : Juliette NDOUNLA

Jury d'évaluation du stage :

Président : Franck LALANNE

Membres :

Olivier BOUSIGE
Seyram SOSSOU

Promotion 2010-2011

« La nature de l'Homme n'est pas ce avec quoi il est né mais ce pour
quoi il est né » Aristote

REMERCIEMENTS

Ce travail est le fruit de 04 mois de recherche, 04 mois d'étonnement et de fascination, à travers lesquels je me sentais renaître malgré les difficultés rencontrées. L'aboutissement de ce mémoire je le dois en particulier à une personne qui m'a conduit et qui a toujours manifesté la volonté de m'aider. Cette soif de la recherche que j'avais perdue, elle me l'a transmise à travers sa positivité. Je ne sais comment dire merci à cette personne qui a accepté de m'encadrer madame Juliette NDOUNLA. Je tiens de tout cœur à remercier mes camarades Bernard ZONGO, Noël TINDOURE, Timothée SOMDA, Kader CONGO, Emilienne BITIE pour le soutien et la patience envers mon égard durant mon stage. Je ne puis oublier messieurs Sévère FOSSI, Ynoussa MAIGA, David MOYENGA, Boukary SAWADOGO, Seyram SOSSOU et Armel YAPI qui ont bien voulu lire, corriger mon mémoire et me guider par leurs conseils. Un grand merci à mes camarades de classe Luc BAMBARA, Isidore DABIRE et Armelle JIBIA. Mes remerciements vont également à Sali, tous les membres du LEDES, mes amis et à ma famille. Du fond du cœur je remercie l'ÊTRE SUPRÊME de m'avoir permis d'effectuer ces études et de les couronner par ce diplôme.

RESUME

Cette étude menée pendant les mois de février et mars 2011 à Ouagadougou, porte sur la potabilisation de l'eau par le rayonnement solaire. Des expériences sur l'amélioration de la cinétique d'inactivation des bactéries indicatrices de contamination fécale telles que *E. coli* et les coliformes totaux et *Salmonella spp* sous irradiation solaire par le procédé photo-Fenton ($\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/h\nu$), ont été conduites entre 10h et 16h. Le réacteur solaire expérimental était un collecteur parabolique compact (CPC) qui permettait d'assurer une distribution régulière et effective des rayons solaire incidents sur toute la surface des tubes dans lesquels on faisait circuler l'eau à traiter.

Bien que l'inactivation totale des *E. coli* et des coliformes totaux contenue dans les échantillons d'eau traitée ait été possible sous simple illumination solaire après un maximum de temps de 150 min, celle des *Salmonella spp* n'a pas été possible sous les mêmes conditions après les 6h de traitement. Par contre sous traitement photo-Fenton ($\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/h\nu$), toutes ces charges bactériennes ont pu être inactivées, en moins de 60 min pour les *E. coli* et les coliformes totaux et en moins de 90 min pour les *Salmonella spp*.

Les augmentations de température au-cours de ces différents traitements sont toutes restées en dessous de 50°C, le pH de ces eaux est également passé des valeurs minimales de 5,78 aux valeurs max de 8,69. L'irradiation solaire maximale au cours des expériences était située entre 36 W/m² et 41 W/m²; les moyennes mensuelles étant de 37,5 W/m² pour le mois de février et 30 W/m² pour le mois de mars.

L'évaluation de la teneur des paramètres physicochimiques majeurs de ces eaux avant et après le traitement a également été effectuée. De même, le dimensionnement des paramètres d'optimisation de la plate forme de potabilisation de l'eau par photo-Fenton a aussi été réalisé dans cette étude.

Mots Clés : *Salmonella spp*, *E. coli* et les coliformes totaux, photo-Fenton, irradiance solaire, SODIS.

ABSTRACT

This study undertaken in February and March 2011 in Ouagadougou, relates to the purification of water by the solar radiation. Experiments on the improvement of inactivation kinetics of indicator bacteria of fecal contamination such as *E. coli*, total coliforms and *Salmonellas spp* under solar irradiation by photo-Fenton process ($\text{Fe}^{2+} / \text{H}_2 \text{O}_2 / h\nu$), were led between 10 am and 4 pm. The experimental solar engine was a compact parabolic collector (CPC) which permits to ensure regular and effective distribution of incident solars' rays on all the surface of the tubes in which one made circulate water to treat.

Although the total inactivation of *the E. coli* and the total coliforms contained in the treated water samples was possible under simple solar illumination after a maximum of time of 150 min, *Salmonellas spp's* one was not possible under the same conditions after the 6 hours of treatment. On the other hand under photo-Fenton treatment ($\text{Fe}^{2+} / \text{H}_2 \text{O}_2 / h\nu$), all these bacterial loads have been inactivated, in less than 60 min for *the E. coli* and total coliforms and in less than 90 min for *Salmonellas spp*.

Temperatures increasing during those various treatments are all remained below 50°C, pH of those water also increases from the minimal values of 5,78 up to 8,69. Maximum solar radiance during experiments was between 36 W/m² and 41 W/m²; monthly averages being 37,5 W/m² for February and 30 W/m² for March.

Evaluation of major physico-chemical parameters of those water before and after the treatment was also carried out. In the same way, the design of optimization parameters of water purification platforms of by photo-Fenton was also carried out in this study.

Key words : *Salmonella spp*, *E. coli* and coliforms, photo-Fenton, SODIS

LISTE DES ABREVIATIONS

ADN : Acide Désoxyribonucléique

BF : Borne Fontaine

BP : Branchement Privé

CPC : Cylindro-Parabolic Compounds

CFU : Colony Forming Unit

DBO₅ : Demande Biochimique en Oxygène après 5 jours

DCO : Demande Chimique en Oxygène

EAWAG: Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (Swiss Federal Institute of Environmental Science and Technology)

E.coli : Escherichia coli

IR : Infra Rouge

LEDES : Laboratoire Environnement, Dépollution, Ecosystèmes et Santé

NTU : Nephelometric Turbid Units

OMD : Objectif du millénaire pour le Développement

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ONEA : Office National de l'Eau et de l'Assainissement

ONG : Organisation Non Gouvernementale

PEA : Poste d'Eau Autonome

PED : Pays En voie de Développement

PET : Polyéthylène Terephthalate

PH : Potentiel Hydrogène

PO : Procédé d'Oxydation

POA : Procédé d'Oxydation avancée

PS : PhotoSensibilisateur

ROS: Reactive Oxygen Species

SODIS: Solar Disinfection

THA: Trihalométhanes

UV : Ultraviolet

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

Sommaire

Remerciements	ii
Résumé.....	iii
Abstract	iv
liste des abréviations.....	v
Liste des tableaux	3
Liste des figures.....	4
Introduction.....	5
Chapitre 1 : Revue de la littérature.....	7
I. Gestion de l'eau de consommation dans la zone d'étude	7
I.1 Ressources en eau dans le monde	7
I.2 Ressources en eau au Burkina Faso.....	7
I.3 Approvisionnement en eau potable en zone rurale et dans la périphérie de Ouagadougou	8
II. Les maladies à support hydrique et d'origine hydrique.....	9
II.1 Situation de ces maladies dans le monde	9
II.2 Situation des maladies hydriques dans les pays en voie de développement	10
III. Différentes méthodes de traitement de l'eau de boisson à domicile.....	12
III.1 Le chauffage	12
III.2 La Chloration	12
III.3 La sédimentation, décantation, floculation	13
III.4 La filtration	13
III.5 L'exposition solaire.....	14
III.6 Photo-fenton	15
IV. Importances de quelques paramètres	17
IV.1 Température et pH.....	17
IV.2 Fer total et les ions ferreux	17
IV.3 Nitrates et nitrites	17
IV. 4 Ammonium.....	18
IV.5 Sulfate.....	18
IV.6 Sulfure	18
IV.7 Fluorure	18
IV.8 Orthophosphate	19
IV.9 Turbidité	19

Amélioration de la désinfection solaire de l'eau de consommation par photo Fenton

IV.10	Bicarbonate	19
IV.11	DCO.....	19
IV.12	DBO ₅	19
IV.11	Normes applicables à l'eau de consommation humaine	20
Chapitre 2 : Matériels et méthodes		21
i. Présentation de la zone d'étude		21
I.1	Prélèvement des échantillons	22
I.2	Analyse bactériologique	22
I.3	Analyse physico-chimique	23
II. Traitement de l'eau		27
II.1	Traitement par photo-fenton	27
II.2.	Le réacteur pilote	27
III Dimensionnement de l'amélioration de la plate forme d'exposition du CPC.....		28
Chapitre 3 : Résultats		29
I. Résultats et interprétation des données.....		29
I.1	Désinfection de l'eau par irradiation solaire et par photo-fenton.....	29
I.2	Suivie des paramètres physico-chimique de l'eau	33
II. Discussion		38
III Dimensionnement de l'amélioration de la plate forme d'exposition du CPC.....		41
III.1	Caractérisation de la taille et des besoins en eau de la population.....	41
III.2	Dimensionnement du CPC.....	41
III.3.	Le débit.....	41
III.4	Choix et installation des pompes	42
III.5	Le réservoir et la quantité de peroxyde d'hydrogène.....	43
III.6	Le système d'alimentation énergétique.....	43
III.7	Gestion du système	43
Conclusion		45
Recommandations et Perspectives		46
Référence bibliographique.....		48
Annexes		51

Liste des tableaux

Tableau 1:Quelques maladies engendrées par des germes pathogènes liés à l'eau	11
Tableau 3:Directives de l'OMS/BF, 1996.....	20
Tableau 3 :Teneurs des paramètres physico-chimiques avant et après le traitement.....	34

Liste des figures

Figure 1 :Répartition des ressources en eau dans le monde (Nebel & Wright, 1996)	7
Figure 2:Etape de l'application du SODIS	15
Figure 3:Régions climatiques du Burkina Faso ainsi que les histogrammes pluviométriques des principales villes. Source : http://www.gourcy.be/images/regions_climatiques.JPG	21
Figure 4:Le réacteur pilote CPC.....	28
Figure 5:Suivie de l'inactivation bactérienne, de la variation de la température de l'eau et de l'irradiation solaire (tests témoins sans ajout de H ₂ O ₂).	30
Figure 6:Suivie de l'inactivation bactérienne, de la variation de la température de l'eau et de l'irradiation solaire pendant la désinfection par photo-Fenton.	30
Figure 7:Variations de l'irradiation solaire et de la température de l'eau contenue dans le réacteur CPC pendant les mois de février et mars 2011.	32

Introduction

L'eau source de vie est un facteur fondamental de développement et de bien être dans le monde. Cependant, l'accès à l'eau potable demeure précaire dans les zones rurales et périurbaines des pays en voies de développement. N'ayant généralement pas accès au réseau de distribution d'eau potable, les populations de ces zones utilisent le plus souvent les eaux de surface (rivières, barrages), souterraines (forages, puits) et, de pluies sans un traitement de potabilisation préalable. Ces eaux étant régulièrement exposées aux pollutions d'origine domestique, agricole et industrielle, leur consommation sans traitement reste à l'origine de diverses épidémies de maladies d'origine hydriques. Selon l'OMS environ 2.2 millions de personnes majoritairement des enfants meurent par an suite à une maladie d'origine hydrique dans les pays en voies de développement (PED). Au Burkina Faso les maladies diarrhéiques constituent la deuxième cause de mortalité des enfants après le paludisme. Les maladies d'origine hydrique telles que le choléra et la bilharziose lymphatique ont une récurrence annuelle dans le pays. Dans l'optique de les réduire, des campagnes de vaccination, de prévention et de formation en hygiène et en assainissement sont souvent organisées par les services de santé et les ONG. Les dépenses liées à la gestion de ces épidémies de maladie d'origines hydriques peuvent être significativement réduites, si une meilleure déserte en eau potable est fournie aux populations rurales et périurbaines. Pour palier au manque d'eau potable dans les zones nécessiteuses, diverses méthodes de traitement de l'eau de boisson à domicile sont souvent expérimentées, la plus répandue étant la chloration (Miquel, 2003 ; Sobsey, 2007). Mais la disponibilité des dérivés du chlore, (eau de javel, pastille de chlore ou de chloramine) constitue un handicap majeur dans la vulgarisation de ce traitement dans les recoins enclavés des PED. De même, leur coût élevé ne les rend pas accessible aux bourses faibles des populations vivant en zone rurale. La maîtrise de la dose utile pour un traitement adéquat demeure également un facteur limitant dans le processus de traitement de l'eau à domicile par chloration. En effet un mauvais dosage pourrait favoriser la génération de sous produits de la chloration telle que les Trihalométhanes qui sont cancérigènes et donc la production est très élevée lors de la désinfection des eaux à forte charge en matière organique. La désinfection de l'eau par exposition au rayonnement solaire expérimentée dans les années 80 pour la désinfection d'eau de réhydratation orale (Acra, 1980, 1984), a été évaluée et exploitée récemment à domicile dans différent pays tropicaux à travers la méthode SODIS (Sommer al., 1997 ; Wegelin et al., 1994). Mais la limitation du volume d'eau à traité

(1 -2 L), la durée nécessaire pour une désinfection complète (6h) et la nécessité d'un ensoleillement d'intensité élevée et constante, tout comme les risques de recroissance bactérienne qui entraînent la réduction du temps de stockage de l'eau traitée à 24h, réduisent les possibilités d'appliquer efficacement le traitement SODIS à la désinfection de l'eau destinée à la consommation humaine. L'amélioration de la désinfection de l'eau au SODIS a récemment été expérimentée par plusieurs auteurs à travers l'utilisation de collecteur solaire pouvant permettre la recirculation d'un plus grand volume d'eau pendant le traitement, (Ubomba Jaswa et al., 2010 ; Sciacca et al., 2010). Et l'utilisation de réactif Fenton ($\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$) pour l'initiation du processus photo Fenton qui favorise la génération des radicaux hydroxyles (OH^\bullet) très oxydant qui accélèrent l'inactivation bactérienne et assurent une meilleure désinfection (Rincon et al., 2007a,b ; Moncayo Lasso et al., 2009 ; Sciacca et al., 2010 ; Spuhler et al., 2010). Bien que la majorité de ces expérimentations se soient réalisées en laboratoire, une partie de ceux de Rincon, Moncayo Lasso et Sciacca ont été faite sur de l'eau naturelle. Ceux de Sciacca qui ont été réalisés sur de l'eau de Ouagadougou ont permis de mettre en exergue la possibilité de réaliser la désinfection de l'eau par photo Fenton de l'eau naturel sans ajout de Fe^{2+} supplémentaire, en exploitant juste la faible charge en fer naturel que contiennent naturellement les eaux de la région. Mais l'étude des variations de l'irradiation solaire sur l'efficacité du traitement et de son applicabilité dans les zones cible reste à évaluer. Ce travail se donne pour objectif principale d'évaluer l'impact de l'irradiation solaire sur l'efficacité de la potabilisation de l'eau par photo Fenton. Pour atteindre cet objectif, il sera plus spécifiquement réalisé :

- Le suivi des variations journalières de l'irradiation solaire instantanée et cumulée,
- le suivi de l'inactivation des bactéries indicatrices de contamination fécale contenues dans les eaux de puits,
- Le suivi de la variation de la teneur de certains paramètres physicochimiques de l'eau traitée par photo Fenton avant et après le traitement.

Chapitre 1 : Revue de la littérature

I. GESTION DE L'EAU DE CONSOMMATION DANS LA ZONE D'ETUDE

I.1 Ressources en eau dans le monde

L'eau à la surface terrestre est inégalement répartie. Environ 97% de l'eau à la surface terrestre est de l'eau salée, 2,53% du stock total représente de l'eau douce. Cette eau douce se retrouve à plus de 75% dans des calottes glaciaires et sous forme de glaciers dans les régions polaires. Moins de 1% de cette eau douce est accessible et consommable, elle se trouve dans différents réservoirs : eau de surface, eau de précipitations, eau souterraine. Malgré l'abondance de l'eau à la surface terrestre, il existe de nombreux contrastes, en effet en Amérique du Sud l'Amazonie draine 15% du stock d'eau douce tandis que le Nord du Brésil est désertique. En Inde, les régions de l'Himalaya sont traversées par de grands fleuves tandis que le Sud de l'Inde est désertique. La région méditerranéenne est caractérisée par un manque d'eau douce.

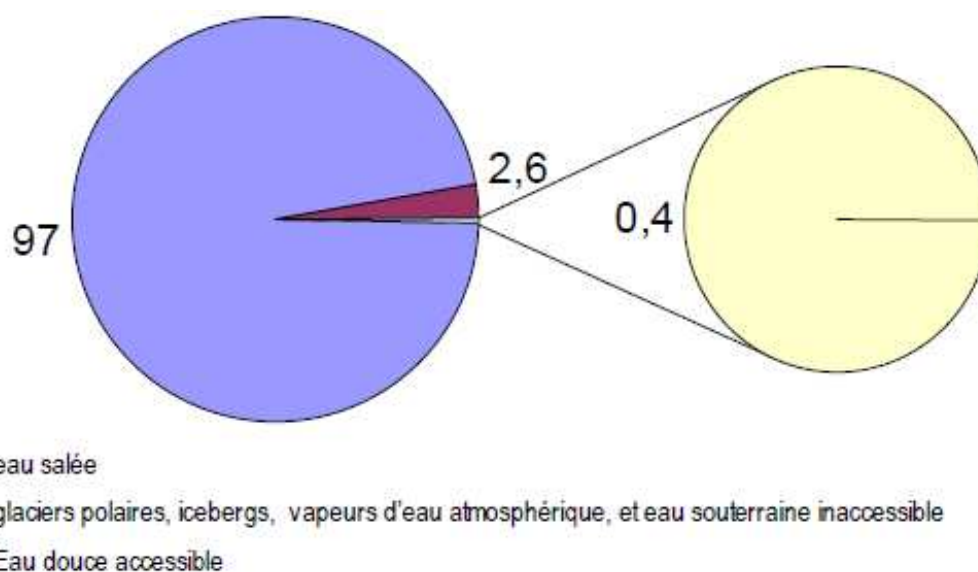


Figure 1 : Répartition des ressources en eau dans le monde (Nebel & Wright, 1996)

I.2 Ressources en eau au Burkina Faso

Il existe au Burkina Faso 3 bassins fluviaux, la Comoé, la Volta et le Niger ; la quantité d'eau drainée chaque année est estimée à 8 milliards de mètre cube. La mobilisation de ces ressources et leur mise en valeur rencontrent des difficultés principalement l'état défectueux et le manque d'infrastructures adéquates et la recharge en eau de ces ressources.

En 1999 le Burkina Faso possédait 33000 puits et forages destinés à l'alimentation humaine et plus de 2000 retenues d'eau de surface dont 380 étaient permanentes. Ces retenues avaient une capacité de 6 milliards de mètre cube d'eau soit 75% du stock d'eau des 3 bassins. L'eau issue de ces puits, forages et retenues servait à l'alimentation en eau potable des villes et de certaines communes rurales, à l'irrigation. Ces ressources en eau sont classifiées comme suit :

Les eaux de surface représentent la production d'énergie électrique (Yaya et Zabre, 2001). Actuellement,

- par 1450 barrages dont une dizaine de grands barrages ; ont une capacité de stockage de plus de 5 milliards de mètre cube.
- Les précipitations, la moyenne est estimée à 206,9 milliards de mètre cube par an dont 8,79 milliards de mètre cube d'eau écoulee, 32,4 milliards de mètre cube d'eau infiltrée, 165,9 milliards de mètre cube d'eau évaporée.

Le stock d'eau souterrain est évalué à 402 milliards de mètre cube et seulement 40,19 milliards de mètre cube sont rechargeables. Ces eaux souterraines paraissent en général d'assez bonne qualité mais les concentrations élevées en nitrates (plus de 100 mg/l) et en chlorures ont été observées dans certaines régions (Madi Bamdou, 2010). Les aquifères les plus importants se situent dans les régions de l'Ouest, de l'Est et du Sud-ouest

I.3 Approvisionnement en eau potable en zone rurale et dans la périphérie de Ouagadougou

L'approvisionnement en eau potable des différentes villes du Burkina Faso et de certaines communes rurales est assuré par l'Office National de l'Eau et de l'Assainissement (ONEA). Cette eau de consommation provient des barrages de Loumbila et de Ziga. Les systèmes utilisés pour l'approvisionnement en eau potable étant des Branchements Privés (BP), et des Bornes Fontaines (BF) pour les villes, il existe aussi des puits (moderne et traditionnels) et des forages. Les communes rurales quant à elles, sont alimentées en eau potable par des BP et des BF mais le taux de couverture de ces systèmes est très faible, l'existence de ces systèmes d'alimentation dans ces communes est due à la proximité avec une ville. Généralement les populations des communes rurales sont desservies en eau potable par des Postes d'Eau Autonomes (PEA), des forages, puits modernes, certaines populations dans les localités où se trouve une eau de surface (barrage, rivière) ou une source d'eau souterraine (puits traditionnels) en font usage sans utilisation de désinfectants. Le taux de couverture des besoins en eau hormis les zones non couvertes par l'ONEA est d'environ 70% sur la base d'un point d'eau pour 300 habitants si l'on exclut les puits modernes. Mais ce taux serait

encore plus bas si l'on considère les pompes en panne qui selon l'inventaire de 1996 serait d'environ 28% des pompes existantes. A Pousghin et à Poedogo respectivement 45% et 34,6% de la population utilisent l'eau des puits traditionnels tandis qu'à Pendogo 100% de la population utilisent l'eau du puits moderne et 73,1% de la population de Poedogo utilisent l'eau de forage. L'eau de surface est utilisée à 30,8% à Poedogo et 42,8% à Nougou ; cette eau est utilisée sans un traitement préalable de potabilisation par la majorité des populations, et souvent le seul traitement utilisé par certaines personnes à Poedogo est la décantation par le sulfate d'alumine (Madi Bamdou, 2010).

II. LES MALADIES A SUPPORT HYDRIQUE ET D'ORIGINE HYDRIQUE

II.1 Situation de ces maladies dans le monde

Les maladies à support hydrique sont provoquées par des microorganismes aquatiques vivant la première phase de leur vie dans l'eau et la dernière sous forme de parasite. Ils passent dans le corps humain de deux manières soit en perçant la peau ou soit par ingestion d'une eau polluée contenant les helminthes à l'origine de ses maladies (la dracunculose causée par le ver de Guinée, la paragonimiasse, la clonorchiasse, la diphyllobotriose et la schistosomiasse ou bilharziose) (Ndounla, 2007). 30 millions de personnes sont victimes d'onchocercose et 260 millions d'individus sont atteints de bilharziose.

Les maladies d'origine hydrique sont multiples, les êtres humains et les animaux peuvent être les hôtes des bactéries, des virus, des protozoaires qui sont à l'origine de ces maladies. Ce sont des maladies liées à une eau contaminée par des déchets humains, ou d'animaux, des produits chimiques, elles peuvent être des maladies dues à la consommation d'eau polluée, à de mauvaises pratiques hygiéniques ou à une eau qui n'a pas subi de traitement de potabilisation, 100 millions de personnes souffrent en permanence de gastro-entérites et environ 6 millions d'enfants en meurent chaque année. Plus de 1,2 milliard de personnes n'ont pas accès à une eau potable, il est estimé que 12 millions de personnes meurent chaque année dans le monde suite à la consommation d'eau n'ayant subi aucun traitement préalable de potabilisation. Les maladies diarrhéiques, maladies d'origine hydrique prévalent dans de nombreux pays en développement. Dans ces pays, il est estimé à 4 milliards de cas de diarrhée chaque année provoquant 3 à 4 millions de morts par an et la grande majorité étant des enfants. Au début des années 1990. Une épidémie de choléra a sévi au Chili et au Pérou, à Buenos Aires en Argentine, des cas graves de choléra, de méningite, et d'hépatite étaient récurrents dans les bidonvilles, la raison étant du au fait que seulement 4% des foyers avaient

de l'eau de bonne qualité.

II.2 Situation des maladies hydriques dans les pays en voie de développement

Dans la grande majorité des communes rurales l'accès à l'eau potable est faible, et les populations utilisent les eaux de surface et souterraines sans traitement préalable de potabilisation, ce qui contribue à l'augmentation des maladies d'origines hydriques. Les maladies diarrhéiques représentent la deuxième cause de décès des enfants au Burkina Faso après le paludisme. Les maladies à support hydrique, les plus fréquentes sont le vers de Guinée ou dracunculose, le paragonimiose, la clonorchiose, et la schistosomiase ou bilharziose, les eaux stagnantes près des barrages sont généralement les lieux de prolifération de ces microorganismes. Par exemple le barrage d'Akosombo sur la volta au Ghana, le grand barrage d'Assouan sur le Nil, en Egypte ont été des sites de développement des schistosomiasés dans ces localités. Au Mali une enquête réalisée dans 225 villages de milieux écologiques différents a montré que le taux de personnes atteintes de schistosomiase urinaire était 5 fois plus élevé dans les villages alimentés par les petits barrages que les villages dans les zones sèches. Au Burkina Faso le vers de Guinée a été éradiqué mais chaque année une campagne de lutte contre le vers de Guinée et la bilharziose se fait.

Tableau 1: Quelques maladies engendrées par des germes pathogènes liés à l'eau
(Source : Ndounla, 2007).

Groupes	Germes	Maladies ou signes cliniques
Bactéries	Salmonella spp.	Fièvre typhoïde, Fièvre paratyphoïde, Salmonelloses
	Campylobacter spp.	Entérite, diarrhée
	Shigella dysenteriae	Dysenterie bactérienne
	Shigella sp.	Shigelloses
	Escherichia coli	Gastroentérite
	Vibrio cholerae	Choléra, entérite
	Leptospira spp.	Leptospirose
	Leptospira icterohaemorrhagiae	Syndrome de Weil
	Mycobacterium spp.	Tuberculoses
	Clostridium spp.	Tétanos, gangrène
	Legionella pneumophila	Légionellose
	Brucella tularensis	Tularémie
	Virus	Poliovirus
Coxsackie virus A		Courbature musculaire
Coxsackie virus B		Méningite
Echovirus		Diarrhées, hépatite
Adenovirus		Infections respiratoires, attaque du système nerveux central
Virus de Norwalk		Gastroentérite, vomissement, diarrhées aqueuses, crampes abdominales, maux de tête
Rotavirus		Vomissements, diarrhées
Reovirus		Infections respiratoires, diarrhées, hépatite
Virus de l'Hépatite A		Hépatite infectieuse
Entamoeba histolitica		Dysenterie amibienne
Protozoaires		Giardia intestinalis, G. lamblia
	Cryptosporidium	Diarrhée cholérique, crampes abdominale
	Balantidium coli	Balantidiase
Nématodes	Ascaris lumbricoides	Ascariodose
	Ancylostoma duodenale	Ankylostomiase
Helminthes	Diphyllobothrium latum	Infection à tœnia
	Fasciolopsis buski	Infection l'intestin grêle
	Schistosoma mansoni, Schistosoma japonicum et Schistosoma haematobium	Bilharziose ou schistosomiase
	Clonorchis sinensis	Clonorchiose (infection à trématodes)
	Dracunculus medinensis	Ver de guinée
Cestodes	Tœnia spp	Taeniose, cysticercose

III. DIFFERENTES METHODES DE TRAITEMENT DE L'EAU DE BOISSON A DOMICILE

III.1 Le chauffage

Cette méthode utilisée pour la désinfection consiste à chauffer l'eau jusqu'à ébullition pendant quelques minutes (OMS). Elle permet de détruire complètement les germes pathogènes (virus, bactéries, les spores bactériennes, les champignons, les protozoaires et les œufs d'helminthes) et peut être efficacement appliquée à tous les types d'eau, y compris celles de haute turbidité ou même contenant des composants dissous. Cependant cette méthode présente quelques inconvénients qui rendent son application impraticable dans certaines régions du monde car présentant les limites suivantes : (Acra et al, 1984 ; Sobsey, 2007)

- elle nécessite énormément d'énergie en effet il faut 01 kg de bois pour bouillir 01 litre d'eau ce qui peut conduire à une déforestation.
- difficulté de consommation à cause du goût provoqué par le contenant chauffé à des températures élevées.

III.2 La Chloration

Le chlore est l'un des produits les plus utilisés pour la désinfection de l'eau, il est utilisé sous forme de chlore gazeux, ou d'un de ses dérivés, les chloramines, le dioxyde de chlore ou l'hypochlorite de sodium (eau de javel) vendu sur le marché. Le chlore possède d'importantes propriétés dont un pouvoir oxydant élevé et aussi une capacité de rémanence. Dans l'eau, le chlore libre se présente sous trois formes en équilibre : l'acide hypochloreux (HOCl), l'ion hypochlorite (ClO^-) et l'ion chlorure (Cl^-). C'est essentiellement l'acide hypochloreux qui est le composé le plus actif dans les mécanismes de la désinfection (l'ion hypochlorite est peu oxydant et peu bactéricide), c'est pourquoi il est aussi appelé "chlore actif"; il est majoritaire en milieu acide. Dans les eaux chaudes et pour les pH élevés, d'une part, la proportion de HOCl baisse très vite, d'autre part, les matières oxydables par le chlore, matières organiques et surtout ammoniacale, consomment du chlore et rendent une partie de la dose introduite inutilisable pour la désinfection, ainsi il faut mettre beaucoup plus de chlore (Ndounla, 2007). La quantité de chlore à utiliser pour la désinfection est donc fonction de la composition de l'eau. Il a été constaté lors de la chloration la présence de sous produits cancérigènes les trihalométhanes (THA) (Rincon ,2007 ; Miquel, 2003). Cette génération de composés organochlorés est plus importante quand les eaux utilisées sont chargées en matière organique (eau de surface et puits non couvert). La disponibilité du chlore ou de ses dérivés, leur coût et leur dosage constituent un blocage au traitement de potabilisation de l'eau à

domicile surtout pour les populations démunies des PED.

III.3 La sédimentation, décantation, floculation

La sédimentation est une méthode de potabilisation de l'eau, qui consiste à laisser reposer l'eau turbide, cela permet à plus de 80% des germes de sédimenter avec les matières solides (organiques et/ou inorganiques) au fond du récipient. La fraction non décantable peut être floculée par un agent chimique. L'ajout d'un floculant a pour rôle de provoquer l'agglutination des particules (contenant une bonne partie des germes) qui n'ont pas sédimenter. Les coagulants donnent naissance à une réaction chimique qui atténue les charges négatives faisant que les particules se repoussent entre elles. Cette méthode est souvent efficace pour la réduction de la turbidité, à l'amélioration des qualités esthétiques de l'eau et augmente ainsi son acceptation par les consommateurs, mais il n'est pas toujours efficace dans la réduction de la contamination microbienne et devrait être associée à d'autres méthodes de potabilisation de l'eau. En milieu rural le floculant utilisé est la poudre des graines de Moringa, elle permet la floculation et la coagulation des particules dans l'eau. La graine (l'amande) est broyée et tamisée (Folkard et al, 2002), avec des trous de 0,8 mm ou équivalent. La technique traditionnelle du pilon/mortier, est employée pour broyer les graines de *Moringa oleifera*. La poudre fine récoltée est mélangée avec de l'eau propre pour former une pâte. Pour traiter 20 litres d'eau, il faut produire une pâte avec 2 grammes (2 cuillerées à soupe) de poudre de graines, ce qui correspond à environ 20 amandes broyées (une par litre). Si l'eau est peu trouble, il faut utiliser une amande pour deux litres. Cette méthode est compatible avec les mœurs des populations des PED et nécessite peu de moyens. Cependant, les inconvénients sont multiples. En effet il faut suffisamment de temps pour le traitement de l'eau, connaître le dosage adéquat, la participation des membres du ménage, et de plus la contamination fréquente de l'eau du aux ustensiles de puisage et de stockage de l'eau.

III.4 La filtration

Cette pratique consiste à éliminer de l'eau de consommation les particules plus grosses que les pores du filtre. Elle permet de limiter la matière en suspension et les microorganismes. Il existe plusieurs méthodes de filtration, leur efficacité varie d'une méthode à une autre et suivant les conditions d'utilisation. Les techniques de filtration utilisées par la population des PED (filtration avec la bougie de porcelaine, au micro-filtre et à l'aide du coton) se sont révélées peu efficaces pour l'élimination des microorganismes (Ndounla, 2007). La filtration de l'eau de boisson est malgré tout très nécessaire car elle permet selon Alhadi et Yagoub (1993), une réduction de la turbidité de 50 à 70 % et des bactéries d'environ 80%. On obtient

par filtration une eau de très bonne clarté tout en éliminant la majorité des microbes, le reste pouvant être éliminés plus efficacement par la désinfection aux produits chimique ou l'ébullition.

III.5 L'exposition solaire

Le SODIS, méthode de potabilisation de l'eau consistant à l'exposition solaire de l'eau a été initialisée suite aux recherches de Aftim Acra de l'université américaine de Beyrouth (Liban). Recherche effectuée sur l'effet du rayonnement solaire sur la qualité de l'eau dans les années 1970, Acra et son équipe ont examiné l'efficacité d'une unité solaire à débit continu de désinfection pour l'élimination des germes pathogènes de l'eau. Ce système a été prévu à l'usage des petites communautés, camps de réfugié, établissements, et pendant les situations d'urgence (Acra et al, 1990). C'est un traitement qui met en œuvre la combinaison des actions germicides des UV et de la chaleur pour la réduction des germes pathogènes, elle consiste en une exposition au soleil de l'eau contenue dans des bouteilles en plastique. En effet le rayonnement solaire est constitué des Ondes Infrarouge (IR) et Ultra-Violet (UV) et celles logées dans le visible. Les rayons UVA et celles du visible agissent sur l'eau pour donner naissance aux Photosensibilisateurs (PS) qui à leur tour en présence d'oxygène produisent les espèces Réactives d'Oxygène (Reactive Oxygen Species ou ROS). Les PS agissent directement sur la membrane cellulaire des bactéries tandis que les ROS jouent un important rôle dans l'inactivation bactérienne. Le rayonnement solaire détruit la catalase qui empêche la production de peroxyde à l'intérieur des cellules bactériennes. Ce même peroxyde d'hydrogène combiné aux ions Fe^{2+} intracellulaires produit selon la réaction de Fenton des radicaux hydroxyles (ROS). Cette méthode a été évaluée en laboratoire, développée et testée sur le terrain (Acra et al, 1984; Sommer et al, 1997; Wegelin et al, 1994). Différents systèmes de traitement solaire ont été décrits, mais l'un des plus simples sur le plan technique, pratique et économique, est le SODIS développé par des scientifiques de l'Agence fédérale pour les sciences de l'environnement et de la technologie (EAWAG) et ses nombreux collaborateurs et partenaires (Sobsey, 2007). L'eau mise dans des bouteilles en plastiques polyéthylène (PET) transparentes et exposée au soleil peut atteindre des températures avoisinantes 55°C et 60°C. A ces températures cette méthode contribue à l'élimination des germes pathogènes, elle nécessite peu de moyen et est applicable dans les pays où il existe un ensoleillement de 2000 à 3000 heures par an soit 200 et 300 jours par an. Elle est limitée par la quantité d'eau par bouteille exposée (2 litres au maximum). (Sobsey, 2007 ; Kenfack, 2006). Le SODIS exige assez de rayonnement solaire, de plus le temps d'exposition est fonction du climat donné et

des conditions atmosphériques (temps d'exposition: 5 heures par temps découvert ou partiellement (50%) couvert, ou 2 jours de suite par temps complètement (100%) couvert). L'eau traitée doit être consommée dans les 24h après le traitement, excéder cette durée il peut se développer des bactéries. Une autre contrainte est due au fait que davantage de rayonnement solaire contribue à la destruction des protéines, et aussi les rayons UVA responsable de la production des ROS sont limités par la composition de l'eau. En raison de la dépendance du rayonnement UVA aux conditions atmosphériques, il serait plus intéressant d'investir dans des méthodes permettant l'augmentation de la photo-génération des ROS, et parmi ces méthodes les procédés d'oxydation avancée (POA) font partie des procédés les plus expérimentés ces dernières années dans les processus d'amélioration de la potabilisation de l'eau par le rayonnement solaire (Rincon et Pulgarin, 2007 ; Moncayo-Lasso et al., 2009 ; Siacca et al., 2010; Spuhler et al., 2010).



Figure 2: Etape de l'application du SODIS

III.6 Photo-fenton

III.6.1 Le procédé Fenton

Le procédé Fenton est un PO qui permet à l'obscurité de générer des radicaux hydroxyles (OH^\bullet) qui sont très oxydants à travers une réaction entre le peroxyde d'hydrogène et les ions ferreux et régénérer ces ions à partir des ions ferrique précédemment formés lors de la première réaction suivant les équations 1 et 2 décrites par Sychev et Isak (Sychev et Isak, 1995) :

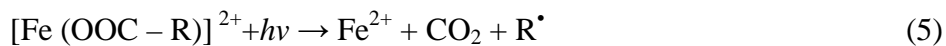


La réaction de Fenton a un inconvénient majeur dans l'obscurité, la faible vitesse de régénération de Fe^{2+} à partir de Fe^{3+} . Cette limite est la cause du ralentissement du cycle catalytique, c'est à ce stade que l'illumination joue un rôle intéressant en provoquant la

régénération des ions ferreux (Fe^{2+}) à partir de complexes d'ions ferriques (Fe^{3+}) en solution. Le radical OH^\bullet est en mesure d'inactiver les bactéries et les virus mais aussi de dégrader les polluants et matières organiques. L'amélioration de la réaction de Fenton par l'illumination est appelée photo-Fenton.

III.6.2 Le photo-Fenton

C'est un POA, qui s'illustre par l'illumination du réactif de Fenton (Fe^{2+}/H_2O_2) dans l'eau permet d'accélérer la cinétique de production des radicaux OH^\bullet . En présence de lumière, les hydro-complexe de Fe^{3+} ($[Fe(OH)]^{2+}$, $[Fe(HO_2)]^{3+}$) et les organocomplexes de fer ($[Fe(OOC-R)]^{2+}$) en solution sont photo-actifs et absorbent des photons pour générer des ions Fe^{2+} et des radicaux hydroxyles supplémentaires et des radicaux organiques oxydatifs, (éq 3-5) facilitant le déroulement du processus photo Fenton ($Fe^{2+}/H_2O_2/h\nu$) au pH neutre et naturel..



IV. IMPORTANCES DE QUELQUES PARAMETRES

IV.1 Température et pH

La température a une importance dans la solubilité des sels, des gaz, sur la conductibilité électrique et le pH. Elle est associée à la correction des paramètres physico-chimiques ayant des valeurs liées à la température, et joue un rôle dans la multiplication des microorganismes, ainsi que sur leur métabolisme. Une température trop élevée accentue le goût, l'odeur, la couleur et aggrave les problèmes de corrosion des conduits d'alimentation en eau (Ndounla, 2007). Le pH d'une eau est un facteur important, selon sa tendance (acidique ou basique) il peut favoriser la présence de telles bactéries au dépend d'une autre espèce. Il joue un rôle essentiel par rapport aux teneurs de certains paramètres physico-chimiques dans une eau de consommation.

IV.2 Fer total et les ions ferreux

Le fer dans les eaux souterraines est soit sous forme de pyrite (FeS_2), qui est associé aux roches sédimentaires déposées en milieu réducteur (marnes, argiles) et aux roches métamorphiques, ou sous forme réduite (Fe^{2+}). La consommation d'une eau chargée en fer pour la lessive colore le linge et, consommée directement peut avoir un goût prononcé

IV.3 Nitrates et nitrites

- Nitrite

Ils proviennent de la réduction des nitrates. Les nitrites en excès dans une eau de consommation humaine engendrent des difficultés de respiration cellulaire chez le fœtus et le nourrisson et aussi des troubles sur la reproduction

- Nitrate

Les nitrates existent naturellement dans le sol et peuvent aussi provenir des déchets industriels et des engrais, ils participent au cycle de l'azote. Les nitrates en excès à la surface du sol vont être entraînés par infiltration dans les nappes phréatiques et provoquer leur pollution et parfois celles des eaux de surface (Idrissi, 2006). Leurs présences dans les eaux de surface, combinées avec les phosphates, entraînent la multiplication des algues qui produisent des toxines à l'origine de l'eutrophisation des eaux, des troubles au niveau du système digestifs (cancer de foie) et du système nerveux (troubles sensitif et paralysies)

IV.4 Ammonium

L'azote ammoniacal est assez souvent rencontré dans les eaux et traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique. Il constitue un des maillons du cycle de l'azote. L'ammoniaque est un gaz soluble dans l'eau, mais suivant les conditions de pH, il se transforme, soit en un composé non combiné, soit sous forme ionisée. Sont désignées sous le terme ammoniaque des formes ionisées (ion ammonium, NH_4^+) et non ionisées (NH_3). Les eaux profondes peuvent également se charger en ammoniaque par réduction des nitrates sous l'action de bactéries ou par des sables qui renferment des minéraux contenant du fer (par exemple, glauconie).

IV.5 Sulfate

Les ions sulfates sont présents dans presque toutes les eaux naturelles, son origine est liée soit à la nature du sol et des roches où l'eau se déplace (particulièrement l'eau souterraine) ou bien liée à la présence des déchets industriels qui se trouvent dans l'eau. Ces ions à de très forte dose (plus de 250mg/L) peuvent être source de déshydratation, de diarrhée chez certaines personnes, et même donner un goût amer à l'eau, ce qui est désagréable à la consommation.

IV.6 Sulfure

L'ion sulfure (S^{2-}) est un anion. Ces ions ne sont présents dans l'eau en grandes concentrations que pour un pH alcalin car au pH acide, l'ion H^+ se combine avec les ions sulfure pour former HS^- ou H_2S . HS^- est l'ion hydrosulfure ou ion sulfhydrile. H_2S est le sulfure d'hydrogène un gaz soluble dans l'eau qui est un acide faible.

IV.7 Fluorure

Les sources principales de fluor dans les eaux souterraines sont les roches sédimentaires mais également les roches magmatiques et certains filons. Les concentrations en fluor sont plus faibles si la teneur en Ca^{2+} , issu du gypse par exemple, est forte. Le temps de contact entre roche et eau souterraine ainsi que les réactions chimiques déterminent les teneurs en F^- (équilibre avec la fluorine, Ca^{2+} dominant). Le fluor est reconnu comme un élément essentiel pour la prévention des caries dentaires (dentifrices fluorés). Cependant, une ingestion régulière d'eau dont la concentration en fluor est supérieure à 2 mg/l peut entraîner des problèmes de fluorose osseuse et dentaire (coloration en brun des dents pouvant évoluer jusqu'à leurs pertes). Les enfants sont particulièrement vulnérables à cette atteinte. Lorsque la concentration en ions fluorure est supérieure à 4 mg/L avec une exposition d'au moins 2

années consécutives, il se produit dans le temps une fluorose osseuse qui se traduit par des problèmes de santé beaucoup plus importants (gonflement des membres supérieures et/ou inférieures, déformation de la colonne vertébrale, blocage de certaines articulation) (Diawara et al, 2004).

IV.8 Orthophosphate

Le phosphore est un élément chimique nécessaire à la vie aquatique, il se présente sous la forme d'orthophosphate. Sa présence dans les eaux naturelles est liée à la nature des terrains traversés, à la décomposition des matières organiques et à l'utilisation des détergents. Elle favorise la croissance des algues dès que l'eau est exposée à la lumière par des phénomènes de l'eutrophisation. Bien que non toxiques, les phosphates présents dans l'eau peuvent occasionner des troubles digestifs à cause de leur effet tampon. (Samake, 2002).

IV.9 Turbidité

Sa connaissance permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. Elle renseigne sur la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques). Une eau ayant une turbidité forte peut permettre à des micro-organismes de se fixer et de se développer sur des particules en suspension.

IV.10 Bicarbonate

Il provient de la dissolution du gaz carbonique dans l'eau, plus il en existe et plus l'eau est gazeuse. Il joue le rôle de tampon en équilibrant les espèces ioniques en solution. Il joue aussi un rôle dans la dureté en évitant aux ions calcium de précipiter en calcaire (carbonate de calcium) pour empêcher la formation de dépôts incrustés.

IV.11 DCO

Elle renseigne sur tous les éléments en mesure de consommer de l'oxygène dans l'eau, en d'autre terme elle représente la consommation d'oxygène pour oxyder les substances organiques et minérales dans l'eau.

IV.12 DBO₅

La DBO correspond à la consommation de d'oxygène par voie biologique. Elle exprime la quantité d'oxygène qu'il faut aux micro-organismes de l'eau pour dégrader les matières organiques, dissoutes ou en suspension dans l'eau. C'est un bon indicateur de la teneur en matières organiques biodégradables d'une eau.

IV.11 Normes applicables à l'eau de consommation humaine

Tableau 2: Directives de l'OMS/BF, 1996

(Source : Madi Bamdou, 2010).

Nomenclature	Unité	Directives OMS/BF
pH		$6,5 \leq \text{pH} \leq 8,0$
Turbidité	NTU	≤ 5
Température	°C	acceptable
Solides totaux dissous	mg/l	□ 1000
Conductivité électrique	$\mu\text{S}/\text{cm}$	□ 2500
Titre alcalimétrique (TA)	°F	aucune mention
Titre alcalimétrique complet (TAC)	°F	aucune mention
Dureté totale	°F	aucune mention
Ammonium (NH_4^+)	mg/l	□ 1,5
Calcium (Ca^{2+})	mg/l	□ 100
Magnésium (Mg^{2+})	mg/l	□ 50
Sodium (Na^+)	mg/l	□ 200
Potassium (K^+)	mg/l	□ 12
Fer total	mg/l	□ 0,3
Fluor (F)	mg/l	□ 1,5
Bicarbonates (HCO_3^-)	mg/l	aucune mention
Carbonates (CO_3^{2-})	mg/l	aucune mention
Chlorures (Cl^-)	mg/l	□ 250
Sulfates (SO_4^{2-})	mg/l	□ 250
Nitrates (NO_3^-)	mg/l	□ 50
Nitrites (NO_2^-)	mg/l	□ 03
Orthophosphates (PO_4^{3-})	mg/l	□ 05
Coliformes Totaux à 37°C	**UFC	0 UFC/100 ml
<i>Escherichia Coli</i> à 44°C	UFC	0 UFC/100 ml

Chapitre 2 : Matériels et méthodes

I. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

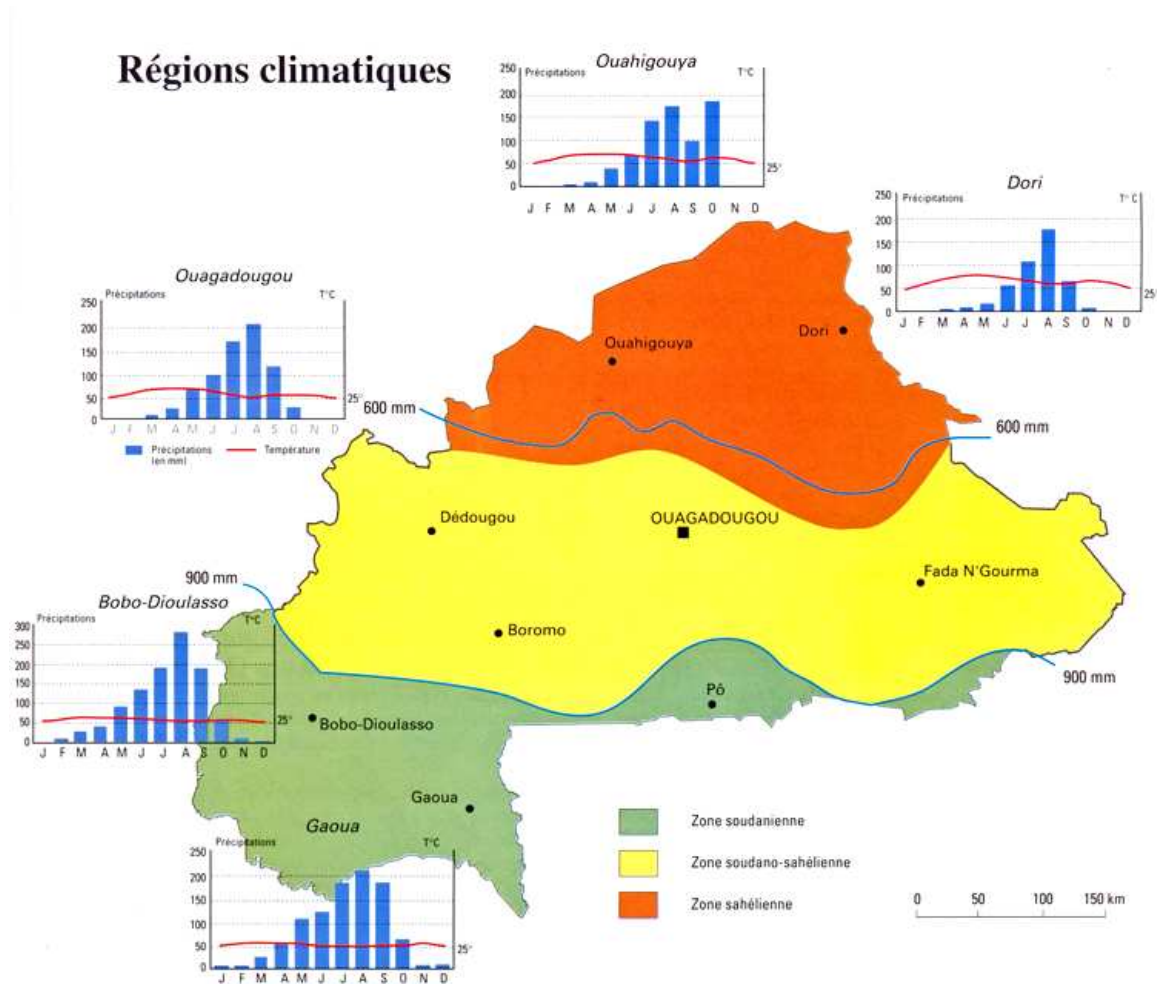


Figure 3: Régions climatiques du Burkina Faso ainsi que les histogrammes pluviométriques des principales villes. Source : http://www.gourcy.be/images/regions_climatiques.JPG

La ville de Ouagadougou se trouve dans la province du Kadiogo, et situé à la latitude 12°17,5' et à la longitude 1°7', elle est la principale ville du Burkina Faso et en est la capitale. Sa population est estimée à 1,4 million en 2006, l'extension horizontale de la ville a conduit à l'engloutissement des villages environnants. Ce qui accentue la naissance de nouveaux quartiers aux périphéries de la capitale. Le climat du Burkina Faso est de type soudano-

sahélien, et le climat de la ville de Ouagadougou est en de même, avec des températures dépassant souvent 42°C, le mois d'avril étant le plus chaud. Du mois d'octobre au mois de novembre les pluies se raréfient et la température baisse jusqu'à 15°C et s'accompagne de l'harmattan qui est un vent très sec. La saison sèche continue ensuite du mois de décembre au mois d'avril. Du mois de février au mois de mars, les températures remontent rapidement, elles atteignent alors fréquemment 40 C. La saison pluvieuse débute au mois de juin et les premières pluies apparaissent entre avril et mai .L'ensoleillement de la capitale estimé dans la fourchette de 2500 à 3000h du fait de sa position géographique lui confère un atout pour un traitement solaire de l'eau de boisson. La ville de Ouagadougou possède comme ressource en eau de surface 03 barrages. Elle possède également des réserves hydrogéologiques (des aquifères à milieu fissuré, de la zone altérée, aquifères des latérites ou réservoirs d'altérite) (Sou, 2009) alimentant certains quartiers dont Nonsin. Ces ressources sont souvent utilisées par la population pour les besoins agricoles et même domestique. En période de saison sèche face aux multiples coupures d'eau, les populations font alors recours aux eaux de puits sans traitement préalable.

I.1 Prélèvement des échantillons

Le prélèvement se faisait le matin avant 09h, du lundi au jeudi, l'équipement utilisé était composé de 02 bidons dont l'un de 20l, l'autre de 5l et d'un thermomètre de terrain pour la prise de température in situ. Chaque bidon était correctement lavé en fin de semaine et le jour du prélèvement ces bidons étaient rincés 03 fois avec l'eau de la source avant le remplissage suivant les consignes de Rodier (Rodier, 1996). Le soir à la fin de l'expérience, les bidons sont également lavés, ces multiples lavages avaient pour objectif d'empêcher le dépôt de sédiment ou le développement de microfilm à l'intérieur des bidons. L'instrument utilisé par les propriétaires du puits, a servi pour le remplissage des bidons. Pendant le prélèvement in situ, la température est prise, l'heure de prélèvement et la date étaient notées. De retour sur le site expérimental se faisait la prise du pH. Lors du traitement, le prélèvement de l'eau selon le timing conçu pour ensemencement et mesure des paramètres physiques, se faisait avec des petites bouteilles de capacité 50ml, les mains étaient nettoyées avec de l'alcool, et le matériel était rincé avec de l'eau distillée.

I.2 Analyse bactériologique

Les analyses se sont déroulées dans les unités de microbiologie du Laboratoire Eau, Dépollution, Ecosystèmes et Santé (LEDES) du 2iE de Ouagadougou.

I.2.1 Préparation du milieu de culture

La préparation du milieu de culture consistait d'abord à peser 26.5 g de *Chromocult*[®] *Coliforms Agar* distribué par Merck et à le verser dans une bouteille propre, qui a été lavé avec de l'eau distillée avant usage, contenant 01l d'eau distillée. A ce mélange était ajouté un barreau magnétique, l'ensemble était ensuite placé sur un agitateur magnétique chauffante de marque Fisher Bloblock scientific réglé à 250°C. Arrivée à cette étape le mélange était laissé pour refroidissement pendant 15 à 20 mn. Enfin le milieu était coulé dans des boîtes de pétri, de temps à autre il fallait remuer la bouteille pour éviter la formation de liquide surnageant.

I.2.2 Culture et incubation

L'ensemencement des germes pathogènes se réalisait sur un milieu solide à la suite des prélèvements tout au long de l'expérience et selon le plan exposé ci bas. La culture des microorganismes se faisait par étalement dans des boîtes de Pétri et le milieu de culture utilisé pour la détection des germes pathogènes était le *Chromocult*[®] *Coliforms Agar*. C'était un milieu sélectif et différentiel pour les coliformes totaux, les coliformes totaux et *E. coli* et d'autres Gram négatifs comme *Salmonella* spp. Qui sont des indicateurs de contamination fécale. Il permettait par des colorations spécifiques à chaque espèce, de distinguer les colonies en croissance sur le milieu. *E. coli* (de la coloration bleue foncée au violet), les coliformes totaux (coloration rose saumon), et *Salmonella* spp. (coloration blanchâtre). L'incubation était réalisée directement après l'expérience à 37±2°C dans un incubateur de marque Heraeus pendant 18 – 24h. Le dénombrement des différentes colonies était fait à l'aide d'un compteur de colonie électronique.

I.3 Analyse physico-chimique

Les analyses se sont déroulées dans les unités de chimie du Laboratoire Eau, Dépollution, Ecosystèmes et Santé (LEDES) du 2iE de Ouagadougou.

I.3.1 Suivre des paramètres de l'irradiation solaire

Les paramètres de l'irradiation solaire telle que l'intensité diffuse (W/m²) et l'intensité globale(Wh) ont été suivis à l'aide d'un radiomètre UV-A de marque ACADUS 85 UV monté sur le CPC. Les prises des données étaient effectuées toutes les 1h de entre 8h et 17h du lundi au vendredi.

I.3.2 Suivre de la température et du pH

La température et le pH mesurés tout au long du traitement selon un timing prédéfini au cours des expériences à savoir : 0, 10, 20, 30, 45, 60, 90, 120 150, 180,210, 240, 270, 300,

330, 360 min. Les températures étaient prises par avec un thermomètre de marque Testo et le pH avec un pH-mètre de marque Pocket Meter 330i pH-meter, WTW connecté à une sonde Blueline 24 pH-sonde.

1.3.3 Fer total

La procédure restait la même mais le réactif utilisé est le FerroVer de HACH, le code du fer total, la longueur d'onde d'absorption du fer total, le temps de la réaction et la coloration à obtenir étaient les seules différences, la lecture se faisait avec le spectrophotomètre DR2000.

1.3.4 Ions ferreux

La manipulation était la même que pour le fer total mais le code, la longueur d'onde d'absorption, la coloration et le temps de réaction étaient différents de ceux du fer total et le réactif utilisé est le Ferrous Iron Reagent fourni par HACH.

1.3.5 Nitrates et Nitrites

- Nitrites

La procédure demandait de verser le réactif NitriVer de HACH dans des cuvettes de 25 ml contenant l'eau des différents échantillons (eau traitée et non traitée). La manipulation était similaire à celle des nitrates, mais la différence selon le spectrophotomètre DR2000 se basait sur le temps de réaction, le code des nitrites et la longueur d'onde d'absorption des nitrites.

- Nitrates

Les nitrates contenus dans les eaux (avant et après traitement) ont été mesurés à l'aide du spectrophotomètre DR2000. Initialement les réactifs NitraVer de HACH étaient versés dans des cuvettes de 25 ml, chaque cuvette contenait soit de l'eau traitée ou bien de l'eau qui n'a subi aucun traitement, toutes les eaux utilisées provenaient de la même source et une des cuvettes contenait de l'eau distillée pour faire le blanc, ensuite le spectrophotomètre DR2000 était réglé sur la longueur d'onde d'absorption des nitrates. Après agitation de la cuve spectrophotométrique pour assurer un bon mélange entre l'échantillon et le réactif, le chronomètre du spectrophotomètre DR2000 était lancé pour réaliser un décompte de 3min, puis la lecture du teneur en nitrate des échantillons étaient fait suivant les instructions du manuel de HACH DR2000.

1.3.6 Ammonium

Le réactif utilisé était le Nessler, il en est prélevé 1ml et versé dans des cuvettes de 25 ml contenant de les différents échantillons (traité ou non traité) ; le blanc contenait de l'eau distillée. Le spectrophotomètre DR2000 était utilisé pour la lecture des valeurs suivant la longueur d'onde d'absorption de l'azote ammoniacal qui était fixée avant le début de la manipulation.

1.3.7 Sulfate

Les sulfates sont détectés en utilisant le réactif SulfaVer fabriqué par HACH, le protocole expérimental consistait à mettre le spectrophotomètre DR2000 en marche en fixant la longueur d'absorption des sulfates de mettre dans des cuvettes de 25ml de l'eau traitée ou non provenant de la même source, et dans une autre cuvette de 25ml de l'eau distillée était mise. Le tout étant agité avant le lancement du chronomètre du spectrophotomètre, permettant au réactif de réagir en solution et d'obtenir la coloration spécifique avant la lecture des valeurs des concentrations.

1.3.8 Sulfure

La procédure consistait à mettre 1ml de chaque réactif Sulfide 1 Reagent et Sulfide 2 Reagent de marque HACH dans des cuvettes de 25 ml, chaque cuvette contenait de l'eau (traitée ou non) et une des cuvettes contenait de l'eau distillée pour faire le blanc, ensuite les cuvettes étaient agitées et le chronomètre du spectrophotomètre DR2000 était lancé, donnant le temps nécessaire pour que la réaction se fasse. La mesure des teneurs en ions sulfures se faisait à l'aide du spectrophotomètre DR2000 selon la longueur d'onde d'absorption des sulfures longueur d'onde préalablement fixée avant le début de la manipulation.

1.3.9 Fluorure

La procédure consistait à mettre le spectrophotomètre DR2000 en marche en indiquant la longueur d'onde d'absorption des fluorures puis à ajouter 5 ml de SPANDS dans des cuvettes de 25 ml, chaque cuvette contenait de l'eau (traitée ou non) et une des cuvettes contenait de l'eau distillée pour faire le blanc ensuite le tout était remué, le chronomètre du spectrophotomètre DR2000, était lancé en attendant le temps nécessaire pour que la réaction se fasse. La lecture se faisait avec le spectrophotomètre DR2000. La limite du temps de manipulation à ne pas dépasser était de 05 mn.

1.3.10 Orthophosphate

La méthode consistait à ajouter le réactif PhosVer de marque HACH dans des cuvettes

de 25 ml, chaque cuvette contenait de l'eau (traitée ou non) et une des cuvettes contenait de l'eau distillée pour faire le blanc ensuite les cuvettes étaient agitées et le chronomètre du spectrophotomètre DR2000 était lancé, permettant que la réaction se fasse par l'obtention d'une coloration spécifique. La lecture se faisait avec le spectrophotomètre DR2000 selon la longueur d'onde d'absorption des phosphates, longueur d'onde préalablement fixée lors de la mise en marche du spectrophotomètre DR2000 au début de la manipulation,

1.3.11 Turbidité

La turbidité est lue avec le spectrophotomètre DR2000, Les cuvettes spectrophotométriques contenant les eaux à analyser et l'eau distillée étaient placées dans le spectrophotomètre pour lecture à la longueur d'onde spécifique pour la turbidité.

1.3.12 Bicarbonate

La détection des bicarbonates se faisait par titration. 100 mL d'échantillon d'eau à analyser étaient prélevés et mis dans un erlenmeyer de 250 mL, ensuite, on y ajoutait quelques gouttes des indicateurs colorés. Du rouge de méthyle, dans un premier temps pour vérifier la présence des ions OH^- et CO_3^{2-} puis des gouttes de phénolphthaléine pour la détection des ions hydrogénocarbonates (HCO_3^-). L'ensemble du système était sous agitation pendant le dosage qui était fait avec de l'acide sulfurique 0.02N. L'obtention d'une coloration rose claire indiquait l'atteinte du point d'équivalence, ce qui permet de retrouver la concentration des bicarbonates.

1.3.13 Suivre de la DCO et de la DBO₅

La DCO réalisée tout au long du traitement suivant les périodes indiquées, un volume de 2,5 ml d'échantillon est prélevé mis dans les tubes de DCO préalablement préparés à base Dichromate de potassium ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) et d'acide sulfurique concentré auquel du sulfate d'argent a été ajouté suivant les consignes du fabricant. A la fin de l'expérience les tubes étaient placés dans un réacteur DCO DCR 3200 pour digestion à 150°C pendant 02 heures. Les valeurs étaient ensuite lues sur un spectrophotomètre DR 2000 de marque HACH. La DBO₅ de l'eau avant et après traitement était également évaluée suivant la méthode des Oxytop dans une enceinte réfrigérée. Pour cette évaluation, 432 ml de chaque échantillon étaient prélevés et introduits dans les bouteilles à DBO de 500 ml, puis des pastilles (4 à 5) de NaOH étaient mis dans des joints en caoutchouc destinés à cet effet avant la fermeture des bouteilles par les Oxytops préalablement remis à zéro pour être placés dans l'enceinte réfrigérée. La lecture des données était effectuée 5 jours après la mise en incubation dans

l'enceinte.

II. TRAITEMENT DE L'EAU

II.1 Traitement par photo-fenton

Le traitement ou l'expérience a débuté par le remplissage de la cuve du réacteur pilote de l'eau de puits prélevée dans un domicile (Nonsin), le volume total était de 25 l. Il a été ensuite versé du peroxyde d'hydrogène AnalaR Normapur 30 % de marque VWR, de quantité 25ml et de concentration 10ppm. Le mélange a été homogénéisé, c'était à ce moment que le zéro était prélevé, il correspondait au témoin qui était de l'eau à traiter plus le peroxyde d'hydrogène et ce zéro n'a pas été exposé au rayonnement solaire. Le traitement sur le pilote commençait à l'instant où le mélange passait dans les tubes du CPC, ce qui correspondait au début de l'expérience. Suivant le timing présenté plus haut se faisait le prélèvement pour la prise des différentes mesures et aussi l'ensemencement.

II.2. Le réacteur pilote

Le pilote CPC est monté sur une plate forme inclinable de 10° à 35°, la ville de Ouagadougou étant situé à 12.2° de latitude Nord, la plate forme est alors maintenue à 10° afin de profiter au mieux de l'ensoleillement. Exposé au soleil, les tubes recevaient tous les rayonnements. Le pilote est composé de plaques faites en aluminium jouant le rôle de miroir cylindro-paraboliques (cylindro-parabolic collectors ou CPC), placé autour de la partie non exposée de chaque tube ; de sorte que les pourtours cachés aient la même intensité lumineuse que les parties exposées. En définitif ces plaques ne concentraient pas l'énergie reçue mais la distribuaient de manière homogène sur tous les tubes. Une pompe installée sur le pilote permettait d'aspirer l'eau de la cuve et de la refouler dans les tubes. Ainsi d'après les lois de continuité et de la conservation de masse de la mécanique de fluide, les quantités d'eau qui rentraient et qui sortaient des tubes subissaient le même traitement. Le volume utilisé tout au long de l'expérience était de 25l. Les tubes utilisés étaient en borosilicate préféré au verre qui avait des effets à long terme sur la diminution de la transmittance et le dépôt de cations ferriques et ferreux absorbant dans les UV, perturbant le traitement. L'intensité (W/m^2) des radiations solaires reçues par le système est mesurée par un radiomètre UV-A de type ACAUS 85 UV fixé sur le réacteur photochimique. Ces radiations solaires sont situées entre 300 et 400nm et l'énergie UV accumulée en Wh représentait l'intensité solaire reçue sur les 2.12m² de surface utile.



Figure 4:Le réacteur pilote CPC

III DIMENSIONNEMENT DE L'AMELIORATION DE LA PLATE FORME D'EXPOSITION DU CPC

Le Burkina Faso prévoit d'ici 2015 à travers les OMD l'atteinte d'une consommation spécifique de 20l/j et par habitant dans les communes rurales. Pour se faire, cela consisterait à multiplier les sources d'approvisionnement en eau potable et à élargir leur accès à l'ensemble des populations vivant dans les différentes communes rurales et dans les zones périurbaines. Cette multiplication des sources d'alimentation en eau potable devrait aussi tenir compte de la qualité et de l'efficacité du système d'approvisionnement. Pour l'atteinte de ces objectifs de nombreuses réalisations sont prévues et le présent mémoire se propose de participer à cette démarche en proposant une méthode de traitement qui sera suivi d'un dimensionnement.

Chapitre 3 : Résultats

I. RESULTATS ET INTERPRETATION DES DONNEES

I.1 Désinfection de l'eau par irradiation solaire et par photo-fenton

Les expérimentations sur la désinfection de l'eau du puits collectée au quartier Nonsin de Ouagadougou, dans cette étude ont été conduites entre 10 h et 16 h (heure local) sur le réacteur pilote CPC de la plateforme expérimentale du 2iE. Les figures 5 et 6 suivantes présentent les courbes de suivie de l'inactivation bactérienne et de variation de la température de l'eau dans le réacteur au cours de l'expérience et de l'irradiation solaire (w/m^2) le jour de l'expérience.

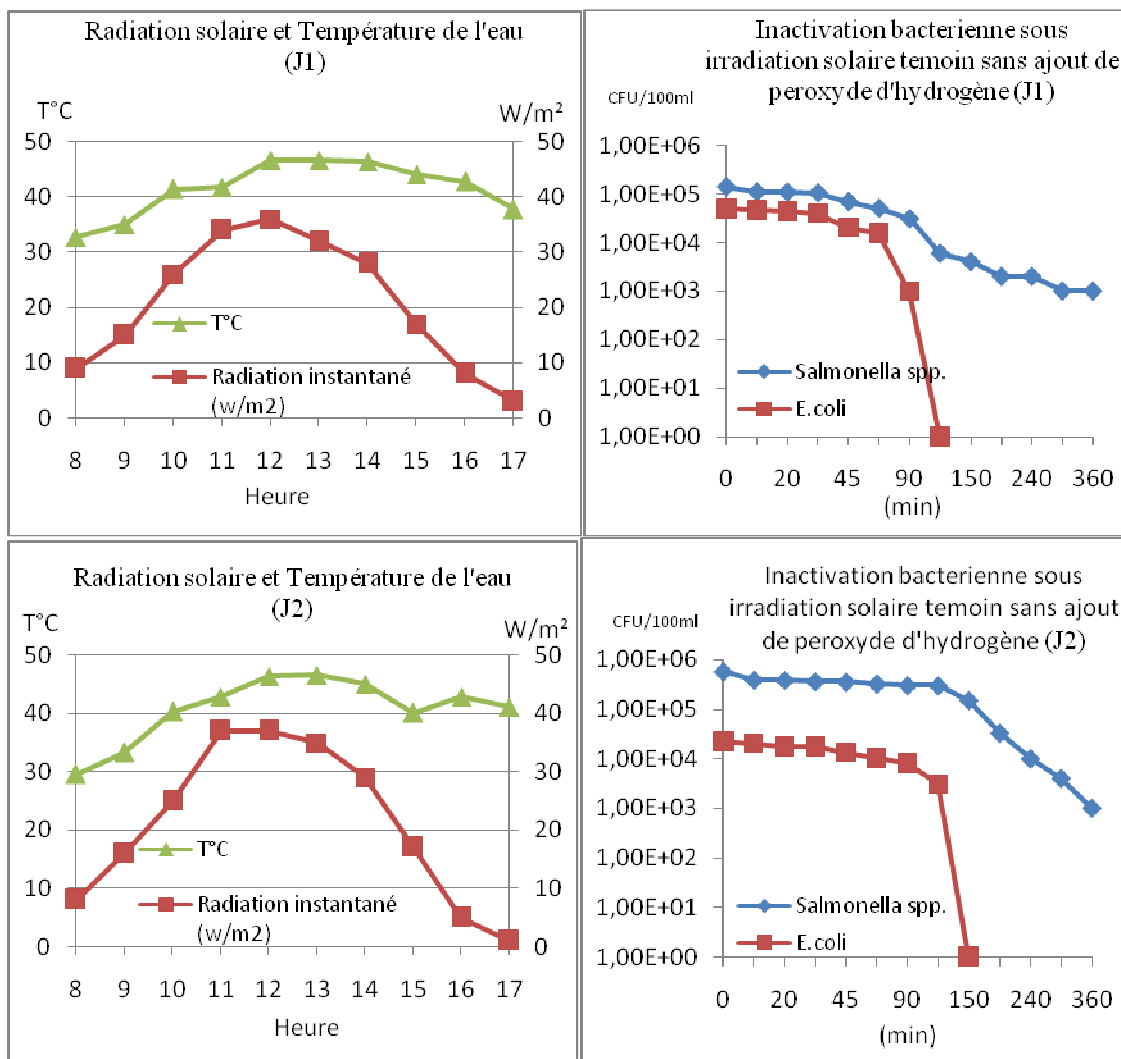


Figure 5: Suivie de l'inactivation bactérienne, de la variation de la température de l'eau et de l'irradiation solaire (tests témoins sans ajout de H₂O₂).

Les expériences présentées sur la figure 5, sont considérées comme des tests témoin, car elles ont été réalisées exclusivement sous irradiation solaire sans ajout de peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) dans l'eau à traiter. Par contre celles présentées par la figure 6 ont été réalisées après un ajout de 10 mg/L de H₂O₂ dans les échantillons d'eau à traiter. Le H₂O₂ ainsi ajouté devant initié le processus photo-Fenton dans le milieu en présence du fer naturel en solution (0.04 – 0.09 mg/L).

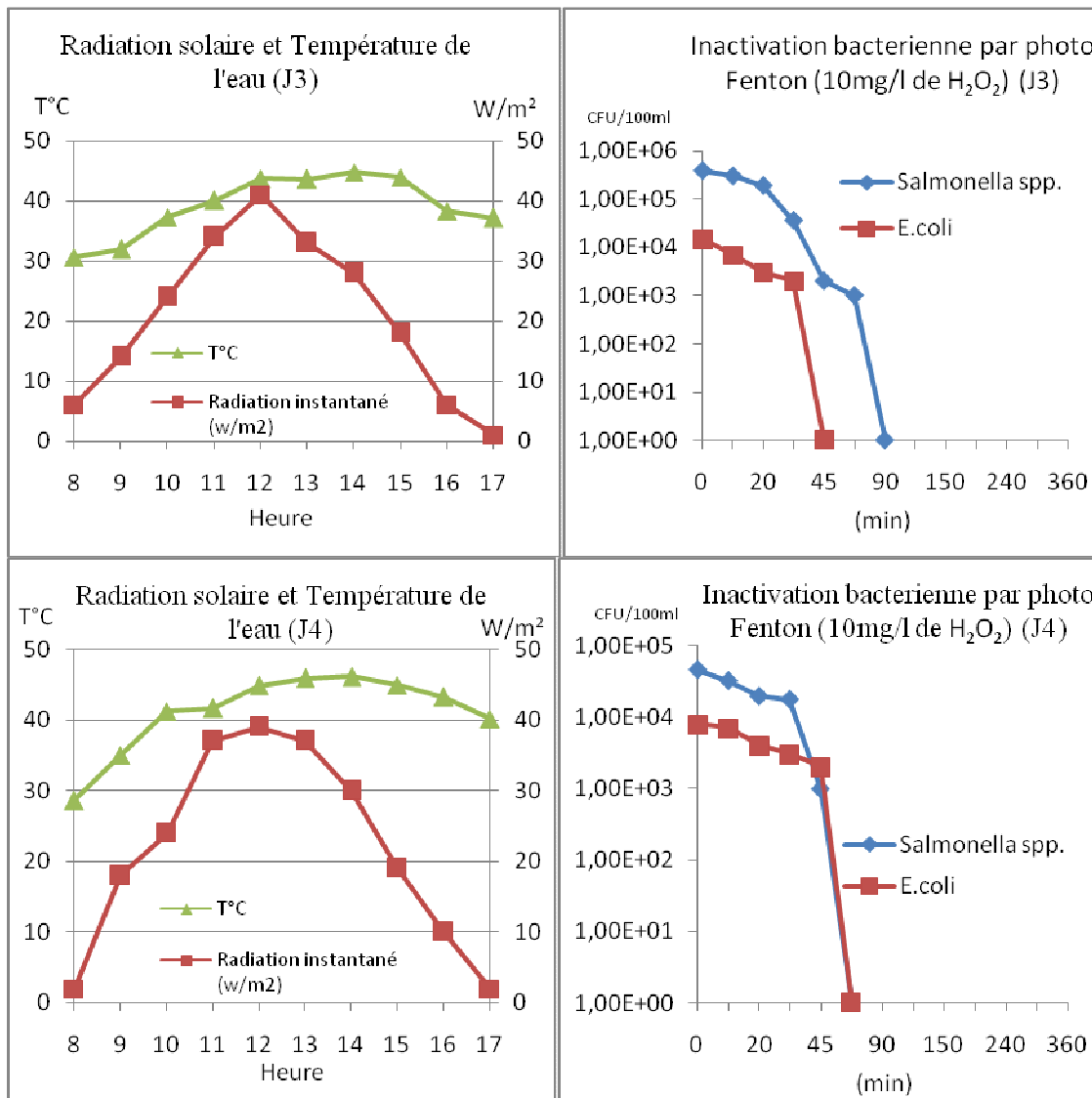


Figure 6: Suivie de l'inactivation bactérienne, de la variation de la température de l'eau et de l'irradiation solaire pendant la désinfection par photo-Fenton.

1.1.1. Variation de la température de l'eau et de l'irradiation solaire pendant les expériences.

On note sur la (fig5) que les courbes illustrant l'irradiation solaire sont presque similaires pour les 2 jours au-cours desquelles l'expérience a eu lieu. Ceci permet de confirmer que les 2 expériences ont été conduites, sous des conditions d'ensoleillement similaires et de pouvoir s'attendre à ce que les fluctuations du rayonnement solaire ne soient pas considérées comme un facteur ayant influencé le processus d'inactivation. Les valeurs maximales d'irradiation pendant ces jours d'expérience étaient respectivement de 36 W/m² et de 37 W/m². L'évolution de la température de l'eau pendant les 2 expériences confirme également la tendance des courbes de suivi de l'irradiation, les maximums de température qui correspondent au maximum d'irradiation ont été respectivement de 46,7°C et de 46,6°C.

Tout comme dans le cas précédant des expériences témoins, les courbes présentant l'allure des variations de l'irradiation solaire et de la température de l'eau, celles de la désinfection de l'eau par photo-Fenton présentées sur la (fig.6) montrent que la variation entre les valeurs de l'irradiation solaire au-cours des 2 jours d'expérimentation n'est pas significative, avec une différence de moins de 3 unités sur leurs valeurs maximales qui sont respectivement de 41W/m² et 39 W/m². La variation des températures a également été proportionnelle à celle de l'irradiation solaire et on a respectivement relevé leurs valeurs maximales de 44.8°C et 46.1°C pendant les périodes des plus hautes irradiations.

On note que toutes ces températures sont toutes restées inférieures à 50°C, ce qui fait que la pasteurisation ou l'inactivation bactérienne exclusivement due aux températures supérieures à 50°C (Sandec, 2009), ne pouvait pas être envisagée au cours de ces traitements.

1.1.2. Variation de la température de l'eau et de l'irradiation solaire mensuel

Les courbes de la (fig.7) présentent, les moyennes des variations mensuelles de température de l'eau contenue dans le réacteur CPC, et de l'irradiation solaire captée par le radiomètre fixé sur le CPC.

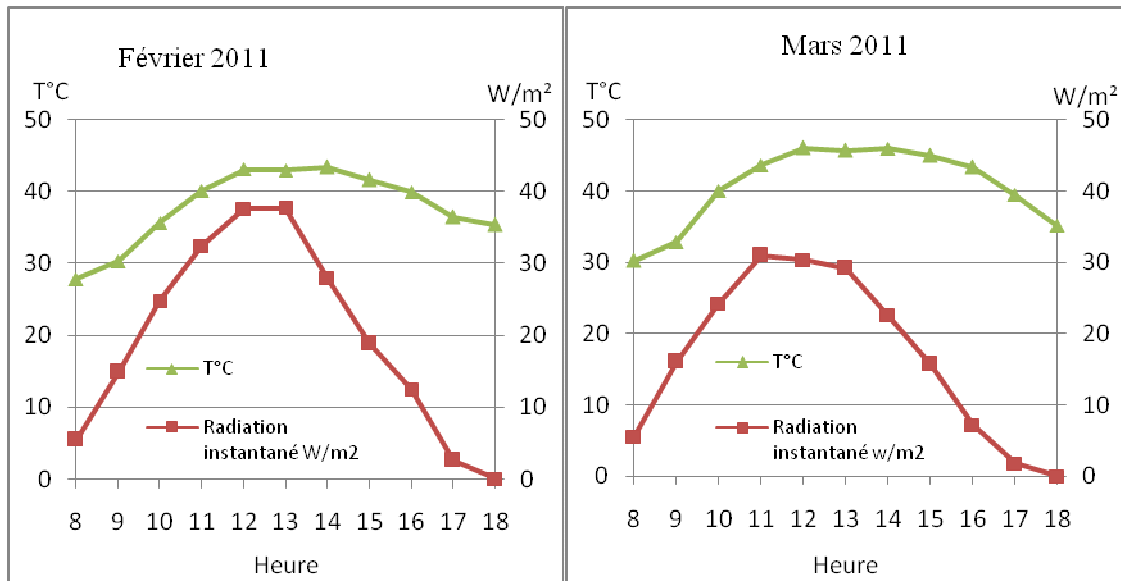


Figure 7: Variations de l'irradiation solaire et de la température de l'eau contenue dans le réacteur CPC pendant les mois de février et mars 2011.

Suivant les données, l'irradiation solaire était nettement plus élevée au-cours du mois de février par rapport au mois de mars 2011, avec un écart de 5 unités dans les moyennes donc les valeurs maximales sont respectivement de 37,5 W/m² et 30,9 W/m². Ces valeurs sont très supérieures à celles obtenues par Kenfack en 2005 avec le même appareil (Kenfack, 2006). En 2005, le maximum de l'irradiation solaire moyenne du mois de février était approximativement de 25 W/m², et celui du mois de mars était approximativement de 30 W/m². Ces hautes valeurs d'irradiations maximales 37,5 W/m² et 30,9 W/m² actuelle sont bénéfiques pour le processus de désinfection de l'eau par photo-Fenton. Contrairement à l'irradiation solaire, la moyenne des températures a été moins élevée pendant le mois de février (43°C) que de mars (46°C).

1.1.3. Désinfection de l'eau

Les courbes présentant l'évolution de l'inactivation bactérienne au cours de la désinfection solaire simple (témoins) de la (fig.5) montrent que seule les *E. coli*, et les autres bactéries coliformes représentées par eux ont pu être entièrement inactivés en 120 et 150 min respectivement dans les deux cas. Contrairement aux *E. coli* et bactéries coliformes, les *Salmonella spp*, n'ont pas été entièrement inactivé au-cours des deux expériences, une charge d'environ 10³ UFC/mL de ces bactéries étaient encore active dans l'eau à la fin des 6 h d'exposition. Ceci s'explique certainement par le fait que, les températures étant restées en dessous de 50°C, l'effet thermique nécessaire pour l'inactivation de tous ces bactéries indicatrices de contamination fécale comme présenté dans le processus SODIS (Wegelin et al., 1994; Sandec, 2009) n'a pas été possible. De même tout comme Berney et Sciacca l'on

observé dans leurs études sur la désinfection solaire des bactéries, les Salmonelles sont plus résistant à la désinfection que les coliformes, *E. coli* compris (Berney et al., 2006 ; Sciacca et al., 2010)

L'ajout de H₂O₂ dans l'eau à traiter pour initier le processus photo-Fenton dans l'eau à traiter à partir du fer naturel a permis comme présenté sur les courbes de la (fig.6) d'améliorer non seulement la cinétique d'inactivation des *E.coli* et des autres bactéries coliformes, mais aussi d'inactiver toutes les salmonelles contenue dans ces eaux. L'inactivation totale des *E. coli* et des bactéries coliformes est passée de 120 et 150 min obtenue avec l'inactivation solaire simple à 45 et 60 min sous inactivation par photo-Fenton respectivement au-cours des 4 traitements. L'inactivation total des *Salmonella spp* par photo-Fenton a été également très rapide ; 90 et 60 min respectivement par rapport au non-lieu obtenue sous irradiation solaire simple. Les radicaux hydroxyles ([•]OH) dont la production dans le milieu a été augmentée par l'ajout de H₂O₂ catalysé par le fer naturel en solution sous l'action de la lumière, ont significativement contribués à l'amélioration des cinétiques d'inactivations de ces bactéries indicatrices de contaminations fécale contenue dans les eaux de puits traitées.

I.2 Suivre des paramètres physico-chimique de l'eau

Les teneurs de certains paramètres physico-chimiques ont été évalués avant et après chaque traitement, pour permettre le suivi de l'effet du traitement sur leur stabilité. Le tableau n 3 présente les teneurs de ces paramètres obtenues au-cours des différents traitements.

Tableau 3 : Teneurs des paramètres physico-chimiques avant et après le traitement.

Paramètres	Traitement solaire sans ajout de H ₂ O ₂				Traitement solaire avec ajout de H ₂ O ₂			
	J1		J2		J3		J4	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
T°C	29,8	46,7	29,6	46,7	30,4	44,8	29,6	46,1
pH	5,92	8,69	5,99	8,23	5,78	8,22	5,85	8,26
Turbidité (NTU)	4	4	6	2	2	4	2	8
Fer total (mg/L)	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,06	0,09	0,05
Ions ferreux (Fe ²⁺) (mg/L)	0,02	0,02	0,04	0,02	0,03	0,03	0,02	0,01
Nitrate (NO ₃ ⁻) (mg/L)	86,385	64,02	75,31	73,095	79,297	73,095	59,4	57,42
Nitrite (NO ₂ ⁻) (mg/L)	0,0891	0,2739	0,099	0,2805	0,099	0,3399	0,2178	0,3927
Azote Ammoniacal (NH ₄ ⁺) (mg/L)	0,264	0,3096	0,0903	0,1935	0,0129	0,1161	0,495	1,188
Sulfate (SO ₄ ²⁻) (mg/L)	8	7	3	1	2	3	1	6
Orthophosphate (PO ₄ ²⁻) (mg/L)	0,15	0,11	0,12	0,11	0,11	0,13	0,15	0,15
Sulfure (S ²⁻) (mg/L)	0,004	0,004	0,008	0,009	0,006	0,012	0,003	0,001
Fluorure (F ⁻) (mg/L)	0,1	0,02	0,22	0,32	0,2	0,2	0,32	0,62
Bicarbonate HCO ₃ ⁻ (mg/L)	35,38	37,82	54,9	50,02	41,48	46,36	40,26	43,92
DCO (mg/L)	67	487	31	103	29	56	59	181
DBO ₅ (mg/L)	10	11	12	15	16	23	14	16
DBO ₅ / DCO	0,149	0,022	0,387	0,145	0,551	0,410	0,237	0,088

1.3.1 Température, pH et Turbidité

La température de l'eau comme présentée précédemment sur les fig.5, 6 et 7 s'est accrue jusqu'à un maximum au-cours des différents traitements solaires (témoins et photo-Fenton), avant de décroître légèrement avec la baisse de l'irradiation solaire. Située généralement entre 29 et 30 °C au prélèvement de l'eau, elles ont atteint des maxima de 44,8 à 46,7°C pendant les périodes correspondant au maxima d'irradiation solaire (36 – 41 W/m²) au-cours des différentes expérimentations. Etant resté inférieure à 50°C, ces températures n'ont pas pu générer une inactivation complète des bactéries par l'effet thermique, d'où la persistance des salmonelles dans les tests de désinfection solaire simple après 6 h d'exposition. Ce qui confirme les recommandations du SODIS qui stipule qu'il faut des températures situées entre 50 et 55°C pour qu'une inactivation thermique ait effet sur les microorganismes de l'eau de boisson.

Au-cours des différents traitements, le pH de l'eau a significativement augmenté également ; passant des minima initiaux de l'eau à la collecte de 5,78, 5,85, 5,92 ou 5,99, au maxima de 8,22, 8,23, 8,26, et 8,69. Malgré ces hauts pH alcalin, le processus de désinfection par photo-Fenton s'est significativement bien déroulé, non seulement en conduisant à une inactivation complète des salmonelles contenues dans les échantillons d'eau traitée mais aussi en améliorant la vitesse d'inactivations des *E. coli* et des autres bactéries coliformes. Le processus photo-Fenton qui initialement était exploité dans des gammes de pH très acide (2,5 – 2,8) où les organocomplexes de fer en solution étaient assez solubles (Malato et al., 2009 ; Kenfack et al., 2009) présente ici une activité très prometteuse pour les désinfections de l'eau de boisson à pH naturel.

La turbidité des eaux traitées n'a pas significativement varié après le traitement et est restée inférieure à 10 NTU, ce qui montre que les eaux traitées avaient une très bonne clarté ne pouvant pas influencer négativement leur désinfection solaire suivant le principe du SODIS qui stipule que le traitement n'est efficace que pour des eaux ayant une turbidité inférieure à 30NTU (Sommer et al., 1997; Sandec, 2009).

1.3.2 Fer total et Ions ferreux (Fe²⁺)

Le fer en solution est sous forme d'ions ferreux (Fe²⁺) et d'ions ferrique (Fe³⁺), sa forme stable étant Fe³⁺, qui reste sous forme de complexe ferrique en solution, ce qui fait que les données sur les variations des teneurs en Fe²⁺ des eaux traitées dans cette étude ne permettent que de confirmer leur présence dans le milieu et ne peuvent pas être utilisées pour

évaluer leur influence sur la concentration du fer total en solution. On note à travers ces données que ces ions Fe^{2+} ont dans l'ensemble une concentration assez faible (0,01 – 0,02mg/L ce qui pourrait être liée à la variabilité de la nature du fer en solution. Les normes de l'OMS requièrent une limite de la teneur en fer total de 0,3 mg/L (WHO, 2006), toutes les eaux traitées dans cette étude avaient des charges en fer total inférieure à 0.1 mg/L, avant et après le traitement. Après les différents traitements : solaires simples et par photo-Fenton, les charges en fer des différents échantillons d'eau traitée n'ont pas significativement variée, ce qui permet dire que la désinfection solaire simple ou par photo-Fenton semble ne par avoir d'influence sur la teneur du fer en solution.

1.3.4 Nitrates (NO_3^-), Nitrites (NO_2^-) et Azote Ammoniacal (NH_4^+)

Les composés azotés des différents échantillons d'eau traitée ont présenté des variations significatives après le traitement, et ces variations étaient encore plus prononcées dans les eaux traitées par photo-Fenton. Les concentrations en NO_3^- qui étaient toutes supérieures à la limite des normes de l'OMS (50 mg/L), (WHO, 2006) ont été réduites au-cours des différents traitements, mais cette réduction n'a pas été assez pour les ramener en dessous des normes de qualité de l'OMS. Contrairement au nitrate, la concentration des nitrites quand à elle en solution a plutôt augmenté, mais tout en restant en dessous des normes de qualité (3 mg/l). De même, la teneur en NH_4^+ a également augmenté après le traitement. Ces augmentations peuvent être liées à la perturbation du cycle de transformation de l'azote due à l'inactivation des bactéries dénitrifiant pendant la désinfection, créant ainsi les réductions des nitrates et l'augmentation des nitrites et de l'azote ammoniacal.

1.3.5 Sulfate, Orthophosphate, Sulfure et Fluorure

Les normes de l'OMS limitent les teneurs en sulfate à 250mg/l (WHO, 2006), les eaux traitées dans cette étude ont des concentrations en sulfate très en dessous de cette norme, et on constate suivant les résultats présentés sur le tableau 3 : que les différents traitements n'ont pas eu d'effets significatifs sur leur concentrations qui sont tous resté < 10 mg/L.

Tout comme dans le cas des sulfates, les deux types de traitement : solaire simple et photo-Fenton, ne semblent pas influencer significativement les charges en Orthophosphate, Sulfure et Fluorure. Leur variation au-cours des différents traitements semble aléatoire.

1.3.6 DCO et DBO₅

La DCO mesure la totalité des substances oxydables, ce qui inclut celles qui sont biodégradables (jusqu'au seuil de DCO dite dure (rapport $DBO_5/DCO < 0.2$). l'eau traitée

dans cette étude étant de l'eau destinée à la consommation, donc n'étant pas comme des eaux usées des station d'épuration, présentes dans l'ensemble des rapport de $DBO_5/DCO < 0.2$; pour ceux dont ce rapport n'est pas < 0.2 avant le traitement, on note une réduction après le traitement tout comme dans les cas où le rapport était précédemment < 0.2 . La réduction des valeurs de ces rapports de biodégradabilité après le traitement pour les deux types de processus : solaire simple et photo-Fenton peut permettre de dire que la désinfection solaire de l'eau a permis la réduction de la charge organique du milieu comme l'avais déjà préconisé Moncayo-Lasso et al., (2009) dans son étude sur la dégradation de la matière organique par le procédé photo-Fenton. Dans les filières de traitement des eaux usées, le rapport DBO_5/DCO indique la fraction biodégradable des composés oxydables par le bichromate : supérieur à 0,5, il indique la bonne biodégradabilité (traitabilité par voie biologique) et inférieur à 0,3 une mauvaise biodégradabilité (voie physico-chimique), considérant que le processus de désinfection de l'eau par photo-Fenton est un procédé physico-chimique, on peut suivant les valeurs des rapports de DBO_5/DCO obtenus dans cette étude dire que ce processus est adapté pour le traitement des eaux suivies dans cette étude.

II. DISCUSSION

Les eaux prélevées pour traitement provenaient de l'eau souterraine précisément d'un puits de Nonsin, qui est un quartier de la ville de Ouagadougou. L'eau de ce puits sert généralement aux besoins domestiques (lessive, lavage) mais elle est aussi utilisée pour la consommation humaine en cas de pénurie. La proximité de ce puits avec le marché de Nonsin le rend très accessible aux commerçants qui peuvent parfois l'utiliser comme boisson en cas de coupure d'eau du réseau. L'intervalle horaire 10 à 14h, la plage horaire correspondant à la période des optimums de la journée avec des intensités de radiation solaire comprises entre 20 et 33 W/m² (Siacca, 2010) est vérifié pour les jours 1 à 4. En effet leurs valeurs maximales s'y trouvent et presque toutes leurs valeurs dans cet intervalle dépassent 33 W/m². Ces jours possèdent des valeurs maximales dépassant 33 W/m² et elles sont situées entre 11 et 13h. La valeur maximale absolue de la radiation instantanée étant 44 W/m² (Siacca, 2010) n'est dépassé par aucune valeur maximale alors que la moyenne mensuelle étant comprise entre 30 et 33 W/m² (Kenfack, 2006) est vérifiée par la moyenne mensuelle du mois de mars (30.9 W/m²) mais dépassée par celle du mois de février (37.5 W/m²). L'une des explications de ce phénomène peut être le réchauffement de la planète car en 2005 la valeur maximale était de 25W/m². L'inactivation des *E. coli* et des bactéries coliformes a lieu pour des valeurs de radiation instantanée comprises entre 26 et 36W/m² pour de simple exposition solaire (SODIS) alors que pour le photo-Fenton cette plage est de 24 à 34W/m². Quelque soit le type de traitement ces 02 plages sont incluses dans l'intervalle des optimums des radiations instantanées de la journée. L'augmentation de la température au-delà de 40°C est déterminante pour l'inactivation bactérienne (Siacca, 2010) en effet les *Salmonella spp* sont inactivées pour des températures comprises entre 41 et 45°C, tandis que les *E. coli* et les bactéries coliformes ne résistent pas à des températures entre 35 et 40°C. Pour le traitement par photo-Fenton à 44°C les *E. coli* ont totalement disparu et les *Salmonella spp* ne sont plus présentes à 46.7°C.

L'inactivation des *E. coli* et des bactéries coliformes par simple exposition solaire est effective après 05 heures (Rincon et Pulgarin, 2007). Dans le contexte présent les résultats obtenus ne sont pas en adéquation avec la littérature, en effet les résultats obtenus pour les *E. coli* et les bactéries coliformes ne sont pas conformes à ce que dit la littérature, car lors des expériences témoins les *E. coli* et les bactéries coliformes sont inactivées suivant l'ordre des

expériences respectivement 120 et 150 mn après le début du traitement. Les raisons de cette différence pouvant être les conditions climatiques et le mode opératoire utilisé de par et d'autre. L'inactivation des *E. coli* et des bactéries coliformes est plus rapide pour l'expérience 1 que le 2 malgré le fait que ces jours présentent un ensoleillement similaire, l'une des possible raisons peut être l'état de stress oxydatif dans lequel se trouverait les microorganismes de l'expérience 2. Les *Salmonella spp* sont totalement inactivées pour les expériences 3 et 4 respectivement en 90 et 60 mn après le traitement, pour les *E. coli* et les bactéries coliformes dans les mêmes placements respectivement en 45 et 60 mn après traitement. L'inactivation des *E. coli* par photo-Fenton est effective après 01 heure (Rincon et Pulgarin, 2007). Les résultats obtenus sont en partie conforme avec la littérature. La principale différence étant la réduction du temps d'inactivation des *E. coli* et des bactéries coliformes en moins d'une heure, l'explication à cette différence peut provenir de l'ensoleillement, de la composition de l'eau utilisée et des conditions de réalisation des expériences de par et d'autre. La position de ces expériences dans l'intervalle des optimums a certainement contribué à l'inactivation des *E. coli* et des bactéries coliformes mais l'inactivation de *Salmonella spp* ne peut être que l'action du peroxyde d'hydrogène en effet le test de vérification par un nouvel ensemencement le jour suivant a montré l'absence des *E. coli* et des bactéries coliformes et de *Salmonella spp*. Absence justifiée par le fait que pour des concentrations supérieures à $6 \cdot 10^{-4}$ mol/l il se produit la destruction totale des *E. coli* (Paul et al., 1995), l'inactivation totale serait le fruit du peroxyde d'hydrogène utilisé car sa concentration au cours des expériences 3 et 4 était $7.35 \cdot 10^{-4}$ mol/l supérieure au seuil indiqué par la littérature.

Tous les paramètres physico-chimiques à l'exception des nitrates sont conformes aux normes requises pour une eau potable. Les nitrates contenus dans les eaux (avant et après traitement) présentent une valeur minimale qui est supérieure à la norme nationale (Madi Bamdou, 2010). Cela peut s'expliquer soit par une simple fixation de l'azote atmosphérique par certaines espèces végétales telle que les légumineuses qui avec l'aide de bactéries la transforme en nitrate qui s'infiltré dans le sol lors des précipitations, ou soit la forte utilisation du fumier comme engrais dans la zone contenant ses eaux. Cette teneur élevée dans l'eau peut être un problème de santé publique en provoquant la méthémoglobinémie chez les bébés. Le pH d'inactivation des *E. coli* lors d'un traitement SODIS est situé entre 8.4 et 8.5 (Maïga et al., 2009) alors que le pH d'inactivation obtenu des *E. coli* et des bactéries coliformes est compris entre 8.11 et 8.18, la différence entre ses 2 résultats peut provenir soit de l'origine de l'eau traitée, soit des conditions de traitement. En effet la différence de l'ensoleillement entre

02 mois peut être un facteur déterminant dans la comparaison des résultats. Les radicaux hydroxyles agissent sur les composés organiques soit par soustraction d'hydrogène aux liaisons C-H, N-H et O-H, soit par addition d'hydroxyles aux doubles liaisons, soit par interactions avec les liaisons d'azote, de phosphore ou de soufre (Siacca, 2010), leurs actions contribuent à la variation du pH lors du traitement par photo-Fenton provoquant alors la variation des bicarbonates et des nitrates suite à une perturbation de l'activité bactérienne. L'évolution des concentrations de nitrate, de bicarbonate, de sulfates, d'orthophosphates et de chlorures a une incidence sur l'inactivation des *E. coli* pendant le traitement par photocatalyse sur TiO₂ (Rincon et Pulgarin, 2007), dans le cas du traitement par photo-Fenton et du SODIS la simple augmentation du bicarbonate a une incidence positive sur le temps d'inactivation des *E. coli* et des bactéries coliformes.

III DIMENSIONNEMENT DE L'AMELIORATION DE LA PLATE FORME D'EXPOSITION DU CPC

III.1 Caractérisation de la taille et des besoins en eau de la population

D'après l'ONEA l'hydraulique villageoise vise à satisfaire les besoins en eau potable des communautés rurales ayant des populations inférieures à 2000 habitants, tandis que l'hydraulique semi-urbaine a pour objectif de subvenir à l'alimentation en eau potable des communautés de plus de 2000 habitants. Le PN-AEPA dans ses objectifs demande à ce que la consommation spécifique puisse atteindre 20l/j et par habitant dans le milieu rural et 30l/j et par habitant dans les villes. Il a été développé par la suite (l'état du Burkina Faso et ses partenaires) l'approche hydraulique de quartier qui vise à doter chaque quartier de village, en point d'eau moderne. Du reste le nouveau critère de planification est de un (01) point d'eau pour 300 habitants avec une distance maximale de portage de 300 m. Ce critère sera la base du dimensionnement du moment où chaque village est divisé en quartier. Pour cette étude le volume journalier est estimé à 6m^3 ; en évaluant que le tiers des besoins en eau de la population correspondent aux besoins des administrations, des services publics et privés. Le volume journalier utile à la zone sera de 8m^3 .

III.2 Dimensionnement du CPC

Le système à construire est constitué d'une source d'eau (eau souterraine ou de surface) d'un système d'exhaure, d'un système de traitement et d'un système de distribution. Le système d'exhaure est composé d'une pompe, d'un ensemble de conduites en PVC. Le système de traitement sera composé d'un CPC qui aura les dimensions suivantes :

- longueur des tubes en pyrex : 40m
- nombre de tube : 40
- diamètre d'un tube : 80mm
- épaisseur d'un tube : 1.4mm

III.3. Le débit

Le calcul des débits se fera à l'aide des paramètres suivants, coefficient de pointe saisonnière ($C_{ps}= 1.2$), coefficient de pointe journalier ($C_{pj}=1.13$), coefficient de pointe horaire ($C_{ph}=2.9$), la demande journalière moyenne (D_{jm}), $\eta_r=0.85$, $\eta_t=0.95$ (Lahemeyer international, 2003)

III.3.1 Le débit d'adduction

Le captage à la source sera réalisé par une pompe qui va ensuite refouler cette eau à travers la conduite d'adduction. Cette adduction de l'eau brute pour traitement sera fait sur 04h, mais divisé en 02 tranches, la première sera de 5 à 7h et la dernière de 10 à 12h. Ce processus d'adduction sera journalier et le débit $Q_{ad} = (D_{jm} * C_{ps} * C_{pj}) / (\eta_r * 4 * 3600)$

$$= \frac{8000 * 1.2 * 1.13}{0.85 * 4 * 3600} = 0.886l/s$$

A ce débit correspond la conduite de refoulement déterminée selon la formule de BRESSE soit $D_{int} = 45mm$, il sera pris le diamètre immédiatement supérieur se trouvant sur le commerce.

III.3.2 Le débit de production (traitement)

Après prélèvement de l'eau brute à la source, l'étape suivante consiste à traiter cette eau par le CPC. Le traitement va se faire en 02 étapes chacune aura une durée de 04h. La première sera réalisée de 8 à 12h et la dernière de 13 à 17h. Le traitement est quotidien et il est à remarquer que le débit de traitement ou de passage dans les tubes en pyrex du CPC sera identique au débit de transfert au réservoir $Q_{prod} = (D_{jm} * C_{ps} * C_{pj}) / (\eta_r * \eta_t * 8 * 3600)$

$$= \frac{8000 * 1.2 * 1.13}{0.85 * 0.95 * 8 * 3600} = 0.466l/s$$

III.3.3 Le débit de distribution

Le traitement étant finis l'eau traitée est envoyée dans un réservoir qui va permettre la distribution dans la localité. La distribution se fera en un seul point sous forme d'un poste d'eau autonome, le débit de distribution $Q_{ph} = (D_{jm} * C_{ps} * C_{ph} * C_{pj}) / (\eta_r * 24 * 3600)$

$$= \frac{8000 * 1.2 * 1.13 * 2.9}{0.85 * 24 * 3600} = 0.428l/s$$

Cette méthode de distribution étant similaire à un PEA avec 04 robinets installés, le débit à fournir pour chaque robinet sera égal à $\frac{Q_{ph}}{4}$ soit $0.107l/s$

III.4 Choix et installation des pompes

La pompe à installer pour le captage de l'eau de surface devra disposer des équipements présentés dans l'annexe. Le choix de la pompe sera fonction de la hauteur manométrique totale (Hmt), du débit d'adduction et du NSPH requis $Hmt = \text{côte PHB du réservoir} - \text{côte PBE de la source} + \text{les pertes de charges (aspiration et refoulement)} + \text{Variation des pressions entre l'intérieur du réservoir et le plan d'eau.}$

La conduite d'aspiration sera dimensionnée en utilisant le débit d'adduction, la perte de charge à l'aspiration (dénivelé entre la côte de la crépine et le PBE de l'eau de surface) et la formule de Manning Strickler. Le diamètre de la conduite d'aspiration sera le diamètre immédiatement supérieur à celui calculé. Les conduites seront toutes en PVC et en partie enterrées, leurs longueurs dépendront du site. Dans le cas d'une eau souterraine, pour le calcul de la Hmt, le PBE de l'eau de surface sera remplacé par le niveau statique de l'eau. La pompe sera de préférence une pompe immergée, l'équipement en amont pour la pompe de surface n'est pas nécessaire pour la pompe immergée, le reste des calculs est inchangé. La seconde pompe aura pour rôle d'aspirer l'eau brute du CPC et de la refouler dans le second réservoir. Sa $H_{mt} = \text{côte PHB du réservoir} - \text{côte minimale du CPC} + \text{les pertes de charges (aspiration et refoulement)} + \text{Variation des pressions entre l'intérieur du réservoir et l'intérieur d'un tube de CPC}$. Les diamètres des différentes conduites seront calculées comme précédemment.

III.5 Le réservoir et la quantité de peroxyde d'hydrogène

Le circuit d'alimentation sera composé de 02 réservoirs, chacun de capacité 5m^3 et de dimensions suivantes :

- hauteur 1.5m
- diamètre 2.06m

Chacun de ses réservoirs sera construit de manière surélevée selon les dispositions constructives des ouvrages hydrauliques. Pour 25l d'eau à traiter la quantité de H_2O_2 utilisée était de 10mg/l ainsi pour 4m^3 d'eau à traiter il faut 1600 mg de H_2O_2 . Les 02 traitements quotidiens nécessiteront en tout 0.4mg/ de H_2O_2 . Le CPC, un des réservoirs et la pompe associée seront installés sur une aire de 1800m^2 .

III.6 Le système d'alimentation énergétique

Les pompes, le CPC formant une partie du système d'alimentation en eau potable seront fournis en énergie électrique par une plaque photovoltaïque, le pays étant situé dans une zone où la plage horaire d'ensoleillement est comprise entre 2500 et 3000h par an, il sera plus sécurisant d'en profiter. De plus la plaque photovoltaïque nécessite peu d'investissement et sa durée de vie est au moins égale à 20 ans. Cette plaque sera dimensionnée en tenant compte des Hmt et débit des 02 pompes.

III.7 Gestion du système

Il sera créée une association des usagers de l'eau AUE conformément au PN-AEPA, cette association sera chargée de la gestion du système d'alimentation. La gestion prendra en

compte le service technique et le service comptabilité. Les attributs du service technique consisteront à l'entretien et à la maintenance des équipements hydrauliques, au fonctionnement du système d'alimentation de la prise d'eau à la distribution. Ce service sera composé au plus de 02 personnes formées à cela et chargées de régler les éventuels incidents. Le service comptabilité aura pour tâche de récolter les cotisations auprès des populations concernées, d'évaluer les coûts et de réparation, de faire le bilan et l'inventaire de l'existant chaque année. Ce service aura au maximum 02 personnes.

III.7.1 Disponibilité du matériel

Le matériel à utiliser proviendra du Burkina Faso, le concours des entreprises locales sera demandé pour la fabrication et le montage du CPC. Les composants du pilote tels que les tubes en pyrex, les plaques cylindro-paraboliques en aluminium servant de miroir, les joints, la plate forme en aluminium et la tuyauterie peuvent être fabriqués sur place. Seuls les pompes, le radiomètre et la plaque photovoltaïque proviendront de l'extérieur.

III.7.2 Gestion et suivi

L'AUE devra être composé de personnes motivées et agissant pour le bien-être de la communauté, à sa tête devra être placé une personne ressource. Chaque mois des tests sur la qualité de l'eau et l'efficacité du traitement devront être faits. Les résultats des tests et le bilan des activités seront présentés à la population. L'AUE devra fonctionner comme une coopérative dans laquelle chaque habitant du quartier se sentira membre.

Conclusion

Au terme de cette étude, il est possible suite aux résultats obtenus de confirmer que le procédé de désinfection de l'eau par photo-Fenton, permet non seulement d'obtenir une inactivation complète des bactéries indicatrices de pollution fécale de l'eau traitée, mais aussi de réduire significativement la cinétique d'inactivation de ces microorganismes contrairement au traitement solaire simple. L'inactivation complète des salmonelles qui n'a pas été possible sous inactivation solaire simple après 6h d'irradiation, l'a été sous photo-Fenton en moins de 90 min. De même l'inactivation totale des E. coli et des coliformes totaux obtenus après un maximum de 150 min sous inactivation solaire simple a présenté un maximum de 60 min sous traitement photo-Fenton. Le procédé photo-Fenton pourrait suivant ces résultats être valablement exploité pour améliorer la déserte en eau potable dans les zones n'ayant pas accès à l'eau du réseau de distribution d'eau potable ou suffisamment de point d'approvisionnement en eau potable (forage).

Suite aux contrôles des paramètres physicochimiques, on note que le traitement par photo-Fenton ne semble pas influencer significativement la variation de la concentration des constituants des eaux traitées, mais des analyses supplémentaires devraient être réalisées pour confirmer ces observations.

Recommandations et Perspectives

A la suite des activités menées sur le terrain, les constats effectués présence visuelle de larves, de débris dans les eaux, les eaux stagnantes, l'hygiène autour des puits et l'état du puits permet de faire les recommandations suivantes :

- La construction de margelle assez haute afin d'empêcher le ruissellement des eaux stagnantes, l'entrée des objets dans le puits.
- La pose d'un couvercle pour éviter que les enfants ne jettent des objets dans le puits, pour éviter aussi les dépôts de poussière.
- La sensibilisation des habitants aux maladies liées aux eaux de consommation
- L'entretien régulier du puits par le nettoyage et le prélèvement des eaux pour des tests
- L'utilisation du SODIS pour désinfecter les eaux de consommation.

A la suite des travaux de recherche menés sur le lieu d'expérimentation, il serait préférable que les mesures suivantes soient appliquées :

- Utiliser les données météorologiques du jour du traitement la veille du jour considéré pour choisir la durée réelle du traitement, durée pouvant varier entre 4 et 6 heures selon l'importance de l'ensoleillement et la plage horaire.
- Couvrir la cuvette du CPC contenant les eaux à traiter afin d'éviter les dépôts de poussière pouvant conduire à des cas de contamination ou fausser les résultats.
- Caractériser la proportion d'oxygène dissous avant et après le traitement afin de classer le type d'eau à traiter et traité. Car les teneurs en DBO₅, en DCO et en ammonium ne sont pas suffisantes pour cela.
- Disposer d'un équipement pour évaluer la variation de la concentration du peroxyde d'hydrogène.

Concernant le dimensionnement du CPC pour une commune rurale les dispositions suivantes devraient être envisagées :

- Un comité de suivi AUE conformément au PN-AEPA, cette association sera créée non sur des bases ethniques, claniques et politiques. Mais basée sur les compétences des membres et le bien être de la masse.

Amélioration de la désinfection solaire de l'eau de consommation par photo Fenton

- Sensibiliser les populations sur le bien fondé d'une telle structure et leur participation dans la gestion de ladite structure.
- Sensibiliser les populations sur les maladies liées à l'eau

Référence bibliographique

Acra, A., Raffoul, and, Z., Karahagopian, Y. 1984. Solar disinfection of drinking water and oral rehydration solutions: Guidelines for household application in developing countries, published for UNICEF by Illustrated Publications S.A.L., Beirut, Lebanon, 1984.

Acra, A., Y. Karahagopian, Z. Raffoul, and R. Dajani. 1980. Disinfection of oral rehydration solutions by sunlight. *The Lancet* 2:1257-8.

Anonyme (2002). Document d'orientation pour l'utilisation du système harmonisé de classification des produits chimiques dangereux pour l'environnement aquatique, série de l'OCDE sur les essais et évaluations, numéro 27.

Berney M, Weilenmann H-U, Simonetti A, Egli T., 2006. « Efficacy of solar disinfection of *Escherichia coli*, *Shigella flexneri*, *Salmonella typhimurium* and *Vibrio cholerae*», *Journal of Applied Microbiology*, 101, pp 828-836.

Diawara, C,K., Essi-tome, H., Lhassani, A., Pontie, M., Buisson, H., 2004. Filtrations membranaires et qualité de l'eau de boisson en Afrique : Cas du fluor au Sénégal. *MSAS* 2004, 125-135.

Kenfack, S., 2006. "Hélio-photocatalytic enhancement of the biodegradation of biorecalcitrant pollutants in water: physicochemical and technical aspects", Thèse n°3550, EPFL-ENAC-SSIE, 146p.

Madi-Bandou, R., 2010. Potabilisation des eaux de consommation par photo-Fenton. Mémoire de master d'ingénierie, LEDES, 2IE, 65p.

Moncayo-Lasso, A., Sanabria, J., Pulgarin, C., Benitez, N., 2009. Simultaneous *E. coli* Inactivation and MON oxidation in river water via photo-Fenton process at natural pH in solar CPC reactor. A new way for enhancing solar disinfection of natural water. *Chemosphere* 77, 296–300.

Miquel, G., 2003. Office Parlementaire d'évaluation des Choix Scientifiques et Technologiques. Rapport sur la qualité de l'eau et l'assainissement en France. . Rapport N°215. Tome I. Sénat.

Ndounla, J., 2007. Caractéristiques biologiques et physico-chimiques de l'eau de consommation et influence du mode d'approvisionnement sur la santé des populations à

Dschang. Mémoire de Master. Dpt de Biologie Animale, Univ de Dschang-Cameroun.122p.

Nebel, J.B. & Wright,T.R. 1996. Environmental Science: The Way the World Works. Prentice Hall.

Paul, A, H. Daniel, B, H. Ingrid, U,S. Charles, G, C. Samuel, K. and Klaus, V. Hydrogen peroxyde as a potent bacteriostatic : implication for host defense. Free Radical Biology and Medecine, vol.19. N°1, pp 31-37, **1995**.

Rincon, A.G., Pulgarin, C., 2007a. Absence of Presumes *E. coli* regrowth after Fe³⁺ and TiO₂ solar photo assisted disinfection of water in CPC solar photo-reactor. Catal. Today 124, 204–214.

Rincon, A.G., Pulgarin, C., 2007b. Fe³⁺ and TiO₂ solar-light-assisted inactivation of *E. coli* at field scale – implications in solar disinfection at low temperature of large quantities of water. Catal. Today 122, 128–136.

Rodier, J., 1996. L'analyse de l'eau. Dunod, Paris.

Samake, 2002. Analyse physico-chimique et bactériologique au L.N.S. Des eaux de consommation de la ville de Bamako

Sciacca, F., Rengifo-Herrera, J. A., Wéthe, J., Pulgarin C. 2010. Dramatic enhancement of solar disinfection (SODIS) of wild Salmonella sp. In PET bottles by H₂O₂ addition on natural water of Burkina Faso containing dissolved iron. Chemosphere 78, 1186–1191.

Sobsey, M, D. and World Health Organization. 2007. Managing water in the home accelerated health gains from improved water supply.41p.

Sommer B., Mariño A., Solarte Y., Salas M.L., Dierolf C., Valiente C., Mora D., Rechsteiner R., Setter P., Wirojanagud W., Ajarmeh H., Al-Hassan A., Wegelin M. 1997. SODIS - an emerging water treatment process, J Water SRT, Aqua Vol. 46, No. 3.

Sou, M., 2009. Recyclage des eaux usées en irrigation : potentiel fertilisant, risques sanitaires et impact sur la qualité des sols. Thèse, EPFL-ENAC-SSIE, 178p.

Spuhler, D., Rengifo-Herrera, J. A., Pulgarin , C. 2010. The effect of Fe²⁺, Fe³⁺, H₂O₂ and the photo-Fenton reagent at near neutral. pH on the solar disinfection (SODIS) at low temperatures of water containing Escherichia coli K. 12Article in press: Appl. Catal. B Environ. 16p.

Sychev, A, Y. Isak, V, G. Iron compounds and the mechanism of the homogeneous catalysis of the activation of O₂ and H₂O₂ and the oxidation of organic substrates. Russian chemical review 64 (12) 1105-1129 (**1995**).

Ubomba-Jaswa E, Fernández-Ibáñez P*, Navntoft C, Polo-López MI, McGuigan KG .

Amélioration de la désinfection solaire de l'eau de consommation par photo Fenton

Investigating the microbial inactivation efficiency of a 25 litre batch solar disinfection (SODIS) reactor enhanced with a compound parabolic collector (CPC) for Household Use. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, Jan. **2010**. In Press.

Wegelin, M., Canonica, S., Meschner, K., Fleishmann, T., Pesaro, F. and Metzler, 1994.

« Solar water disinfection: Scope of the process and analysis of radiation experiments », J. Water SRT-Aqua, 43(3), pp 154-169.

Site internet

<http://www.astrosmf.com/luxorion/eau-potable.htm> Consulté le 01-04-11

<http://www.envirobf.org/170-les-ressources-en-eau-au-burkina-faso.html> Consulté le 01-04-11

<http://www.environnement.ecole.free.fr/index.htm>

[http://www.bladi.net /le bicarbonate produit miracle.htm](http://www.bladi.net/le_bicarbonate_produit_miracle.htm) Consulté le 15-04-11

<http://www.pedagogie.aciml/palier.fr/disciplines/svt/dbo5.htm> Consulté le 13-04-11

<http://www.infoak4health.org/pr/prf/fm>

[http://www.lenntech.fr /sulfates.htm](http://www.lenntech.fr/sulfates.htm) Consulté le 13-04-11

[http ;//www.neoquarium.com /index2.php.htm](http://www.neoquarium.com/index2.php.htm) Consulté le 13-04-11

Annexes

Equipements de la pompe

A l'amont de la pompe : Aspiration

Pièce	Rôle
Crépine	Protection de la pompe contre l'entrée de gros éléments
Clapet de pied	retenue de l'eau dans la conduite pour l'amorçage de la pompe
Convergent dissymétrique	suppression de zone morte à l'entrée de la pompe
Vanne d'arrêt	isolement de la pompe pour entretien

A l'aval de la pompe : Refoulement

Pièce	Rôle
manomètre	Mesure de la pression à la sortie de la pompe
vanne de refoulement	Isolement de la pompe pour l'entretien, amorçage de la pompe
purge d'air	Elimination de l'air
compteur	Evaluation des quantités d'eau refoulées
clapet anti-retour	Protection de la pompe
anti-bélier (éventuel)	Protection de l'installation contre les régimes transitoires