



**Transfert du bisphénol A et des éléments traces métalliques
des contenants plastiques vers les eaux conditionnées au
Burkina Faso : cas de la ville de Ouagadougou.**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER II
OPTION : EAU ET ASSAINISSEMENT**

.....
Présenté et soutenu publiquement le [Date] par

Eric SAWADOGO (20160067)

Directeur de mémoire : Dr Boukary SAWADOGO, Enseignant-chercheur à 2iE

Maître de stage : M. Ousmane Traoré du laboratoire national de santé publique

Structure d'accueil du stage : Laboratoire Nationale de Santé Publique (LNSP)

Jury d'évaluation du mémoire :

Présidente : Dr Hela KAROUI

Membres et correcteurs : Dr Seyram SOSSOU
Dr Boukary SAWADOGO
M. Ousmane TRAORE

Promotion : 2019/2020



DEDICACE

Je dédie ce mémoire de fin de cycle à :

Mon père Boureima Gilbert SAWADOGO

Ma mère Rihanata Odile OUEDRAOGO

Mon épouse Marie Alice OUILI

Nos enfants : Tégawendé Pio Rodrigue et

Pingwendé Angelo Clovis Salvador

Recevez dans ce travail le fruit de vos efforts, vos sacrifices et de votre patience.

REMERCIEMENTS

Ce travail n'a pu avoir lieu sans l'aide, le soutien et le dévouement de certaines personnes de bonne volonté. C'est pourquoi nous voudrions témoigner nos reconnaissances et nos gratitude à l'endroit de :

- ❖ Dr Boukary SAWADOGO : Mon encadreur interne pour son encadrement, ses directives, sa disponibilité et ses conseils et pour l'amélioration de ce travail.
- ❖ Dr Franck LALANE : Pour ces initiatives et ces conseils.
- ❖ Monsieur le Directeur de la DTCE/HP, Dr N.S Dimitri MEDA, pour m'avoir accueillie dans sa Direction pour mon stage.
- ❖ Monsieur Ousmane TRAORE : Chef de service du contrôle de l'environnement (SCE) pour m'avoir accueilli et encadré dans son service.
- ❖ Monsieur Francis KONATE : Mon encadreur externe qui, malgré ses activités professionnelles très intenses, a su manager son temps pour m'encadrer tout au long de ce stage.
- ❖ Monsieur Soumaila KONATE et Monsieur Raoul BAZIE, pour leurs encouragements et leurs encadrements dans les différentes analyses.
- ❖ Aux techniciens du laboratoire notamment messieurs OUEDRAOGO Bernard, ZONGO Aimé, ZONGO Augustin, Adja TIEMTORE/SAWADOGO Rasmata, pour leurs appuis.
- ❖ A mes frères et amis : SAWADOGO Rasmané et OUEDRAOGO Issouf pour vos soutiens multiformes et sans failles tout au long de ma formation.
- ❖ Monsieur Saidou OUEDRAOGO pour son aide, ses directives et ses conseils
- ❖ Mes collègues et promotionnaires du ministère de la santé : COMPAORE Oumarou, COULIBALY Dramane, LOMPO Tamba et ZOUNGRANA Mahamady pour leurs soutiens et leurs encouragements qui m'ont permis de garder haut le moral.
- ❖ Mes co-stagiaires : GUEBRE Fadila, AKE Yapi Jean Jacques, OUEDRAOGO Angelo et SAWADOGO Estelle pour leur soutien et leur collaboration
- ❖ Mes promotionnaires de master 2, avec qui nous avons partagé des moments de combativité.

Recevez tous mes sincères remerciements.

Que le Seigneur vous bénisse !

Tableau 1: Liste des sigles et abréviations

AEP	: APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE
AEPS	: Adduction d'Eau Potable Simplifiée
ANSES	: Agence National de Sécurité Sanitaire des aliments et l'environnement du travail
BPA	: Bisphénol A
CSENO	: Concentration Sans Effet Observable
DJA	: Dose Journalière Admissible
DJT	: Dose Journalière Tolérable
DTCE/HP	: Direction de la Toxicologie, du Contrôle de l'Environnement et de l'Hygiène Publique
EPOB	: Enumération de la Population de Ouagadougou et de Bobo Dioulasso
EFSA	: European Food Safety Authority
ETM	: Eléments Trace Métallique
FAO	: Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
INERIS	: Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques
INSD	: Institut National des Statistiques et de la Démographie
INRS	: Institut National de la Recherche Scientifique
INSPQ	: Institut National de Santé Publique du Québec
GC-MS	: Chromatographie Gazeux couplée à la Spectrométrie de Masse
LNSP	: Laboratoire National de Santé Publique
ODD	: Objectifs de Développement Durable
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
ONEA	: Office National de l'Eau et de l'Assainissement
MEA	: Ministère de l'Eau et de l'Assainissement
PE	: Perturbateur Endocrinien
PEA	: Poste d'Eau Autonome
PET	: Polyéthylène Téréphtalate
PMH	: Pompes à Motricité Humaine
PN-AEPA	: Programme National d'Approvisionnement en Eau Potable et Assainissement
SCE/HP	: Service du Contrôle de l'Environnement et de l'Hygiène Publique
SAAF	: Spectrométrie d'Absorption Atomique à Flamme
RGPH	: Recensements Généraux de la Population et de l'Habitation

TABLE DES MATIERES	
DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS.....	ii
LISTE DES TABLEAUX.....	vi
LISTE DES FIGURES.....	vii
RESUME.....	viii
ABSTRACT.....	ix
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
1- Les eaux conditionnées.....	3
1.1- Généralités sur les eaux conditionnées.....	3
1.2- Les micropolluants dans les eaux conditionnées.....	4
1.3- Cadre institutionnel, règlementaire et normatif de la production et de la commercialisation des eaux conditionnées au Burkina Faso.....	5
2- Le bisphénol A.....	6
2.1- Généralités sur le bisphénol A.....	6
2.2- Contamination de l’homme au bisphénol A.....	8
2.3- Les effets du bisphénol A sur la santé humaine.....	9
2.4- La controverse sur le bisphénol A.....	10
2.5- La réglementation internationale sur le bisphénol A.....	10
3- La dégradabilité et la biodégradabilité de la matière plastique.....	11
3.1- La dégradabilité de la matière plastique.....	11
3.2- La biodégradabilité de la matière plastique.....	11
CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES.....	13
1- Présentation de la zone d’étude.....	13
2- Présentation de la structure et du service d’accueil.....	14
3 Echantillonnage et traitement des échantillons.....	14
3.1- Échantillonnage.....	14

3.2- Recherche de BPA dans les eaux conditionnées	17
3.2.1- Essai de la méthode d'analyse	18
3.2.3- L'analyse des échantillons	20
3.3- Recherche des éléments traces métalliques	20
3.3.1- Acidification des échantillons	20
3.3.2- Analyse des échantillons	21
3.4- Evaluation de la biodégradabilité des emballages	22
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS	23
1- Etat des lieux	23
1.1- La production des eaux conditionnées	23
1.2- Le transport et la distribution des eaux conditionnées	24
1.3- Le stockage des eaux conditionnées	25
2- Le Bisphénol A dans les sources et eaux conditionnées à Ouagadougou	27
2.1- Le BPA dans les eaux souterraines	27
2.2- Le BPA dans les eaux conditionnées	28
2.2.1- Effet de la température sur la migration du BPA	28
2.2.2- Effet du temps sur la migration du BPA	29
2.2.3- Effet de la biodégradation sur le transfert du BPA dans les eaux conditionnées	30
2.2.4 La dégradation du BPA dans les eaux conditionnées	31
3- Eléments traces métalliques dans les eaux conditionnées en sachet	35
3.1- Transfert du cadmium dans les eaux conditionnées en sachet	36
3.2-Transfert du fer dans les eaux conditionnées en sachet	38
CONCLUSION	41
RECOMMANDATIONS	42
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	43
ANNEXES	I

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Liste des sigles et abréviations	iii
Tableau 2: Caractéristiques microbiologiques et physicochimiques des eaux conditionnées ..	3
Tableau 3: Propriétés physicochimiques du BPA (INRS,2018)	7
Tableau 4: Evolution de la population de la ville de Ouagadougou	13
Tableau 5: Caractéristiques physiques des sachets et répartition géographique des échantillons	15
Tableau 6: Les teneurs en fer, manganèse et de cobalt donné par le testeur XRF.....	17
Tableau 7: Taux de récupération du Bisphénol A avec la GC/MS.....	20
Tableau 8: Les résultats du Bisphénol A des eaux souterraines des échantillons	27
Tableau 9: Résultats des germes totaux des échantillons étudiées	33
Tableau 10: Teneurs en chlorure des échantillons après 60 jours de conditionnement	34
Tableau 11: Schémas de monochloroBPA, dichloroBPA, trichloroBPA et tétrachloroBPA	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 12: Les tendances des pH des échantillons après 60 jours.....	35
Tableau 13 : Teneur en cadmium dans les échantillons d'eau de forage.....	36
Tableau 14 : Teneur du cadmium dans les échantillons d'eau conditionnées	37
Tableau 15 : Teneur du fer dans les échantillons d'eau de forage	38
Tableau 16 : Teneur en fer dans les échantillons d'eau conditionnées	39

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Equation de la synthèse du BPA.....	6	
Figure 2 : Représentation schématique du BPA.....	6	
Figure 3 : Différents usages du bisphénol A	8	
Figure 4 : La biodégradation des polymères par les microorganismes	12	
Figure 5 : Présentation de la zone d'étude.....	13	
Figure 6 : Répartition géographique des échantillons dans la ville de Ouagadougou.....	16	
Figure 7 : Chromatographe GC- MS du LNSP utilisé pour le dosage du BPA	18	
Figure 8 : Droite de corrélation de la calibration du BPA.....	19	
Figure 9 : Spectrométrie d'absorption atomique à flamme	21	
Figure 10 : Droite d'étalonnage du cadmium	Figure 11 : Droite d'étalonnage du fer	21
Figure 12 : proportion des moyens de transport des eaux en sachet	Figure 13 : proportion de conformité des moyens de transport des eaux en sachet.....	25
Figure 14 : Conditions de transport des eaux conditionnées en sachet à Ouagadougou	25	
Figure 15 : Conditions de stockage des eaux conditionnées sur des lieux de commercialisation	26	
Figure 16 : BPA dans les eaux conditionnées après 14 et 28 jours de conditionnement aux températures de 18, 29 et 39°C.	30	
Figure 17 : Tendance de migration du BPA dans les échantillons.....	31	
Figure 18 : Tendance des germes totaux dans les échantillons	31	
Figure 19 : BPA dans les eaux conditionnées après 60 jours de conditionnement	32	
Figure 20 : Voies possibles de dégradation du BPA (Commission Européenne ; 2003).....	33	
Figure 21 : Evolution des concentrations du Cd en fonction de la température	37	
Figure 22 : Evolution des concentrations du fer en fonction de la température.....	40	

RESUME

La croissance démographique et l'amélioration du niveau de vie des populations conduisent à un accroissement de la demande en eau qui doit être satisfaite par un changement des habitudes de consommation. C'est dans ce sens que le recours aux eaux conditionnées a été fait pour rapprocher les populations d'une eau de boisson de bonne qualité et conditionnée dans des emballages pratiques pour une consommation individuelle aussi bien à la maison qu'en milieu professionnel. Ces eaux sont conditionnées dans des matériaux en plastique (sachets, bonbonnes et bidons). Cependant les matières plastiques sont fabriquées à base de substances chimiques qui peuvent sous certaines conditions physico-chimiques et microbiologiques migrer vers les contenus et cela constitue une préoccupation majeure. C'est ce qui justifie le bienfondé de cette étude qui a pour objectif général de contribuer à une amélioration de la qualité des eaux conditionnées au Burkina Faso à travers une meilleure connaissance du transfert de Bisphénol A et des éléments traces métalliques des contenants plastiques vers les eaux conditionnées. Pour ce faire des enquêtes suivies d'un échantillonnage des marques d'eaux conditionnées ont d'abord été faites. Ensuite une enquête auprès des producteurs d'eau suivie d'un prélèvement des échantillons ont été réalisés. Finalement les échantillons ont été conservés à 18°C, 29°C et 39°C pendant plusieurs semaines avant leur analyse au laboratoire.

Les résultats de ces analyses ont montré une absence du BPA dans les eaux de forage tandis que dans les eaux conditionnées, le BPA est présent à des concentrations allant de 0 à 0,38mg/L après deux semaines de conditionnement, de 0 à 0,8mg/L après un mois de conditionnement et de 0 à 0,35mg/L après deux mois de conditionnement. Ces résultats montrent également que les concentrations en BPA s'accroissent avec la température.

L'analyse des ETM a montré des concentrations sans cesse croissantes de la deuxième à la sixième semaine avec des concentrations allant de 0 à 9,7µg/L pour le cadmium et de 0 à 0,13mg/L pour le fer dans les échantillons d'eau conditionnée. Ces concentrations sont non seulement croissantes avec le temps mais aussi avec la température.

Les micropolluants utilisés dans la fabrication des contenants plastiques migrent vers les eaux conditionnées en fonction du temps sous l'effet de certains paramètres physicochimiques et microbiologiques. Cette étude a permis d'évaluer les teneurs du BPA et des ETM et de se faire une idée sur l'impact des conditions de stockage sur le relargage de ces substances dans les eaux conditionnées. Ce qui a permis de formuler des suggestions/recommandations afin de contribuer à l'amélioration de la qualité des eaux préemballées.

Mots clés : Bisphénol A, eaux conditionnées, éléments trace métallique, qualité eau de consommation, Ouagadougou

ABSTRACT

Urbanization and population growth constitute a major challenge in the supply of water and sanitation for cities in Sub-Saharan Africa. The increase in populations leads to an increase in the demand for water which must be satisfied by innovations. It is in this sense that the use of conditioned water has been made to bring people closer to hygienic drinking water both at home and in the workplace. These waters are conditioned in plastic materials (sachets, carboys and cans). However, plastics are made from chemical substances which can, under certain physico-chemical and microbiological conditions, migrate to the contents and this constitutes a major concern regarding the use of plastic bags in the packaging of drinking water. This is what justifies the merits of this study which has the general objective of contributing to an improvement in the quality of conditioned water in Burkina Faso through better knowledge of the transfer of Bisphenol A and metallic trace elements from plastic containers to conditioned waters. To do this, a sample of the brands of water packaged was first done. Following a survey of water producers followed by a sampling were carried out. Finally the samples were stored at 18 ° C, 29 ° C and 39 ° C for several weeks before their analysis in the laboratory. Analyzes were performed using GC / MS and Flame Atomic Absorption Spectrometry (SAAF) for bisphenol A and the trace metals, respectively.

The results of these analyzes showed an absence of BPA in forage water while in conditioned water, BPA is present at concentrations ranging from 0 to 0.38 mg / L after two weeks of conditioning, from 0 to 0, 8 mg / L after one month of conditioning and 0 to 0.35 mg / L after two months of conditioning. These results also show that BPA concentrations increase with temperature.

Analysis of the MTEs showed constantly increasing concentrations from the second to the sixth week with concentrations ranging from 0 to 9.7 µg / L for cadmium and from 0 to 0.13 mg / L for iron in the samples of conditioned water. These concentrations are not only increasing with time but also with temperature. The micropollutants used in the manufacture of plastic containers migrate to conditioned water as a function of time under the effect of certain physicochemical and microbiological parameters. This study made it possible to assess the levels of BPA and ETMs and to get an idea of the impact of storage conditions on the release of these substances in conditioned waters. This made it possible to make suggestions / recommendations in order to contribute to improving the quality of prepackaged water.

Keywords: Bisphenol A, conditioned water, metallic trace elements, drinking water quality, Ouagadougou

INTRODUCTION

L'Afrique est un continent caractérisé par une forte croissance démographique avec un des taux de natalité les plus élevés au monde. Cette population de plus en plus nombreuse tend à s'urbaniser avec un taux d'urbanisation moyen de 4% selon ONU-Habitat (2020). La population urbaine est notamment passée de 31% en 1990 à 54,4% en 2020 selon le rapport de la FAO sur l'Urbanisation en Afrique et ses Perspectives. En Afrique de l'Ouest le taux de croissance urbain est passé de 7,5% en 1960 à plus de 34% en 2020 soit plus de 123 millions d'habitants dans les villes de l'Afrique de l'Ouest en 2020 (Denis, 2009).

Il apparaît donc des mutations profondes au niveau des modes de vie et de consommation liées à ce nouvel environnement. Ainsi, nourrir et entretenir cette population urbaine fait donc appelle à une intensification de la production et donc une pression importante sur les ressources en général et celles en eau de façon particulière rendant d'avantage coriace le défi à relever quant à l'atteinte des Objectifs pour le Développement Durable (ODD) dont celui consacré à l'eau (ODD6) vise un accès universel et équitable à l'eau potable, à l'hygiène et à l'assainissement d'ici 2030, en particulier pour les populations vulnérables.

A l'instar des pays de l'Afrique de l'Ouest, le Burkina Faso connaît d'énormes difficultés quant à l'atteinte de l'accès à l'eau et à l'assainissement face à une croissance galopante de sa population. Ouagadougou la capitale a vu sa population passée de 2532311 habitants en 2015 à plus de 3 millions en 2020 (INSD, 2016). Selon le rapport Water Aid (2015) le taux d'accès à l'eau potable de la ville de Ouagadougou pourrait passer de 87% à 95% en 2020 conformément à l'engagement pris par le gouvernement burkinabé. Dans ce contexte d'urbanisation et d'envolée des besoins en eau, il a été constaté un recours de plus en plus croissant aux eaux conditionnées comme eaux de boissons pour les populations aussi bien dans les ménages que dans les milieux professionnels. Les eaux conditionnées sont produites par des unités industrielles locales. Ces eaux qui par leur apparence hygiénique suscitent la confiance des consommateurs, suscitant ainsi la création de nombreuses unités de production de ces eaux conditionnées.

La ruée vers la création d'unités de production d'eau conditionnée ne doit pour autant pas se faire au détriment de la protection des consommateurs car le non-respect de certaines exigences peut conduire à des produits non conformes aux normes de potabilité en vigueur pour les eaux de consommation d'autant plus que l'eau est un produit de consommation massive. C'est pourquoi le contrôle de la qualité, à travers un suivi régulier des eaux

produites prend une part importante dans ce processus.

La plupart des protocoles de suivi de la qualité de l'eau mettent l'accent sur des paramètres courants pouvant notamment conduire à des effets immédiats sur la santé des consommateurs. Pourtant, il est admis que les eaux peuvent être contaminées naturellement en fonction de la composition des roches comportant l'aquifère (Banas et Lata, 2009) et/ou par les activités anthropiques (Ahoussi et al. 2010). Certains des polluants de l'eau peuvent être toxiques par effet cumulatif en cas d'ingestion récurrente. C'est le cas notamment de certains micropolluants comme le bisphénol A (Schlienger, 2014) et les éléments traces métalliques. En effet les eaux commercialisées sont généralement conditionnées dans des contenants plastiques qui sont fabriqués avec des substances émergentes tels que le bisphénol A (Monneret, 2010; Deceuninck et al., 2013). Le bisphénol A est considéré comme un perturbateur endocrinien (Monneret, 2010; LEC 2016) et présenté comme étant à l'origine de nombreuses maladies par plusieurs auteurs (Nalbone et al., 2010 ; Schlienger, 2014). C'est dans ce cadre que cette étude a été initiée afin de contribuer à l'amélioration de la qualité des eaux conditionnées au Burkina Faso à travers une meilleure connaissance du transfert de Bisphénol A et des Eléments Traces Métalliques des contenants plastiques vers les eaux conditionnées. Il s'agira plus spécifiquement de :

- Evaluer les teneurs en Bisphénol A et en Eléments Traces Métalliques dans des eaux conditionnées produites et distribuées dans la ville de Ouagadougou
- Etudier les facteurs externes et internes de la migration du BPA et des ETM des plastiques à l'eau conditionnée.
- Evaluer l'écotoxicité du BPA aux consommateurs des eaux conditionnées

Pour ce travail les hypothèses suivantes ont été formulées :

- Les sachets plastiques transfèrent du bisphénol A et des éléments traces métalliques dans les eaux contaminées.
- Aux températures élevées le transfert du bisphénol A et des éléments traces métalliques des contenants plastiques vers les eaux conditionnées serait plus important.

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

Pour une meilleure compréhension du sujet certains termes et expressions méritent d'être mieux expliciter. De plus, il est nécessaire de situer ce travail dans l'univers des travaux traitant des polluants des eaux de consommations et l'impacts de certains facteurs environnementaux sur la dégradation de la qualité des eaux de consommation. Le présent chapitre est donc consacré à un état de l'art sur les eaux conditionnées et les micropolluants des eaux de consommation.

1- Les eaux conditionnées

1.1- Généralités sur les eaux conditionnées

Le terme eau conditionnée désigne toute eau préemballée en sachet, en bouteille ou en bonbonne, destinée à la consommation humaine. Selon Environnement Santé (2019) et l'arrêté conjoint n°2006-246/MS/MAHRH/MCPEA portant conditions à respecter pour les eaux minérales et autres eaux préemballées au Burkina Faso, les eaux conditionnées regroupent les Eaux Minérales Naturelles (EMN), les Eaux de Source (ES) et les Eaux Rendues Potables par Traitement (ERPT). Le tableaux 2 décrit les caractéristiques microbiologiques et physicochimiques de ces eaux.

Tableau 2: Caractéristiques microbiologiques et physicochimiques des eaux conditionnées

Types d'eau conditionnée	Caractéristiques physicochimiques et microbiologiques
Eaux minérales naturelles	<ul style="list-style-type: none">▪ Origine : Sources naturelles très protégées▪ Microbiologiquement saine▪ Présence des minéraux, oligoéléments et autres constituants qui ont une composition stable▪ Pas de traitement▪ Pas de désinfection
Eaux de source	<ul style="list-style-type: none">▪ Origine : eaux souterraines protégées▪ Microbiologiquement saine▪ Répond aux mêmes exigences que l'eau du robinet▪ Pas de traitement▪ Pas de désinfection
Eaux rendues potables par traitement	<ul style="list-style-type: none">▪ Origine souterraine ou superficielle▪ Microbiologiquement saine▪ Répond aux mêmes exigences que l'eau du robinet

Sources : Environnement Santé (2019)

1.2- Les micropolluants dans les eaux conditionnées

Les micropolluants sont des substances toxiques même à très faibles concentrations susceptibles de provoquer des perturbations et l'altération des fonctions d'un organisme vivant entraînant des effets nocifs, voire la mort. Selon Briand et al. (2018) les micropolluants peuvent avoir une origine industrielle (rejets des eaux usées), une origine domestique liée à l'émission diffuse des particuliers et aux pratiques domestiques (médicaments, cosmétiques, lessives, détergents, plastifiants, retardateurs à flamme, ...) et une origine agricole (engrais, herbicides, insecticides...). Selon l'Agence de l'eau de la Seine de Normandie (2018), les micropolluants les plus couramment retrouvés dans l'environnement sont :

- les Eléments Traces Métalliques (ETM)
- les métalloïdes
- les résidus d'Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)
- les Polychlorobiphényles (PCB)
- les Polybromodiphényléther (BPDE)
- les solvants (Chlorés/Benzéniques)
- les organochlorés (Chloroalcanes, Chloroanilines, Chlorophénols)
- les détergents et plastifiants (Alkylphénols, Phtalates, Bisphénol A)
- les résidus de pesticides
- les résidus de biocides
- les résidus de produits pharmaceutiques

Ces micropolluants parviennent à souiller le milieu aquatique à travers les rejets des eaux usées et le lessivage des eaux pluviales. La présence de ces micropolluants dans l'environnement et surtout en milieu aquatique présente un risque de pollution des eaux conditionnées notamment les eaux de sources et les eaux rendues potables par traitement. C'est ce qui fait dire à Briand et al. (2018) que la dégradation des milieux aquatiques (superficiels et/ou souterrains) peut constituer une menace sur le long terme pour les ressources en eau potable.

En outre le contact entre emballages et contenus ne se fait généralement pas sans transfert de substances. En effet, les emballages plastiques sont fabriqués à base de micropolluants tels que les éléments traces métalliques et le bisphénol A (Briand et al. 2018) qui sont des substances qui peuvent être toxiques aux conséquences énormes sur la santé humaine et animale. Etudiant les transferts de matières, Severin et al. (2010) ont rapporté qu'il y'a une migration c'est-à-dire un transfert des constituants des matériaux d'emballage (additifs,

monomères, composés néoformés...) vers les aliments. Ces composés néoformés apparaissent au cours de la fabrication ou de l'utilisation du plastique, ce qui est tout à fait préjudiciable dans la mesure où ils peuvent représenter la majorité des substances inconnues qui contaminent les aliments (Severin et al. 2010). Une étude menée par Fonkeu (2000) sur le transfert des substances vers les eaux en sachet a montré que les concentrations des éléments traces varient sensiblement en fonction du temps et de la température mais restent en dessous des valeurs limites recommandées par l'OMS.

1.3- Cadre institutionnel, réglementaire et normatif de la production et de la commercialisation des eaux conditionnées au Burkina Faso

La production et la commercialisation des eaux conditionnées au Burkina Faso sont des activités industrielles et commerciales exercées par des entreprises ou unités de production d'eau conditionnée. Elles sont titulaires d'une autorisation et d'une immatriculation délivrées par le Ministère en charge du commerce, de l'industrie et de l'artisanat. Les conditions de délivrance de cette autorisation sont précisées par l'article 6 de l'arrêté interministériel N°2015-0189/MICA/MEF/MS/MRSI/MARHASA/MERH/MFPTSS relatif à l'implantation et à l'exploitation d'unités de production d'eaux préemballées destinées à être utilisées comme eau de boisson. Selon l'article 43 de ce code, le producteur est responsable de la qualité de sa denrée depuis la production jusqu'à l'exposition vente en passant par le traitement, le conditionnement et le transport.

L'arrêté conjoint n°2006-246/MS/MAHRH/MCPEA portant conditions à respecter pour les eaux minérales et autres eaux préemballées au Burkina Faso distingue les eaux conditionnées en trois catégories : les eaux minérales naturelles, les eaux de sources et les eaux rendues potables par traitement. Ces eaux doivent être contrôlées selon l'article 3 du protocole pour l'organisation de la surveillance et du contrôle sanitaire de la qualité de l'eau potable au Burkina Faso par le Laboratoire National de Santé Publique (LNSP). Toujours selon le même article, la qualité des eaux conditionnées est soumise à un contrôle courant par mois et à un contrôle approfondi par an.

2- Le bisphénol A

2.1- Généralités sur le bisphénol A

Le bisphénol A est un composé organique de la famille des aromatiques et est utilisé dans la fabrication des polycarbonates (plastiques) et de résines (Monneret, 2010). C'est un composé chimique de formule $C_{15}H_{16}O_2$ qui a été synthétisé pour la première fois en 1981 par Alexandre P. Dianin (un chimiste russe) à partir de deux molécules de phénol liées entre elles (Bisphénol) par une molécule d'acétone (A), d'où son nom bisphénol A (Schlienger 2014). La figure 1 présente l'équation de la réaction de synthèse du BPA dont des représentations schématiques sont fournies à la figure 2.

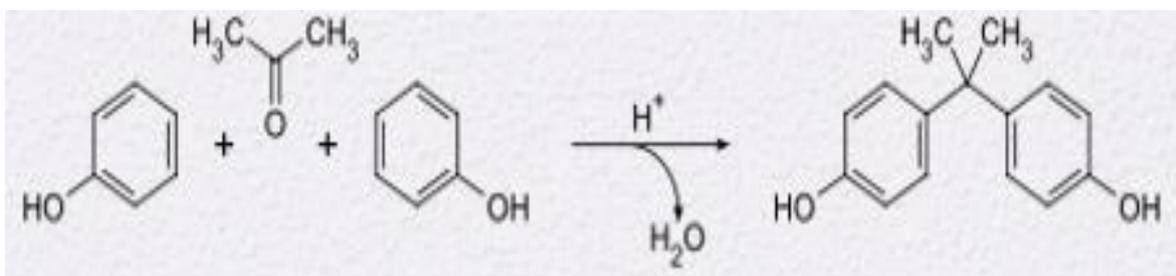


Figure 1 : Equation de la synthèse du BPA

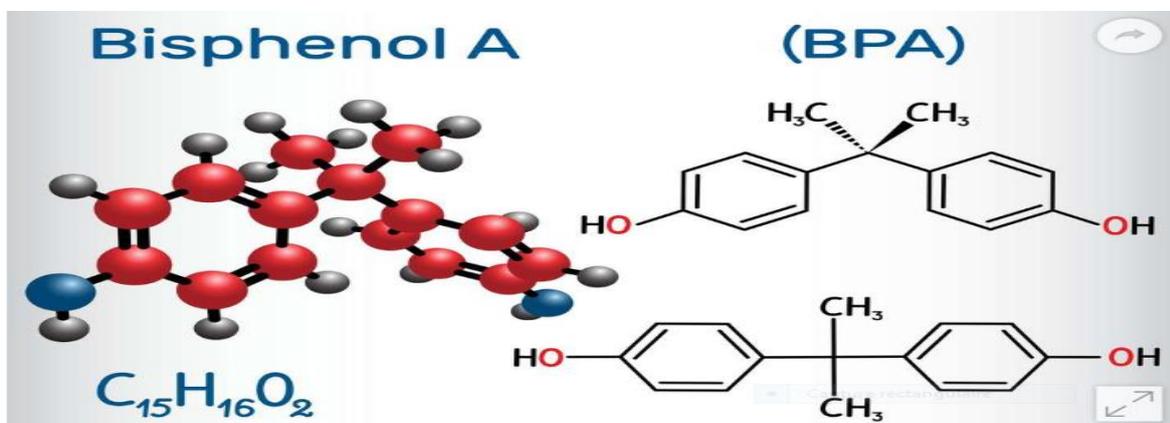


Figure 2 : Représentation schématique du BPA

Dans les conditions normales, le BPA est une substance chimiquement stable. Mais lorsqu'on élève la température il se décompose lentement en phénol et en isopropénylphénol (INRS, 2018).

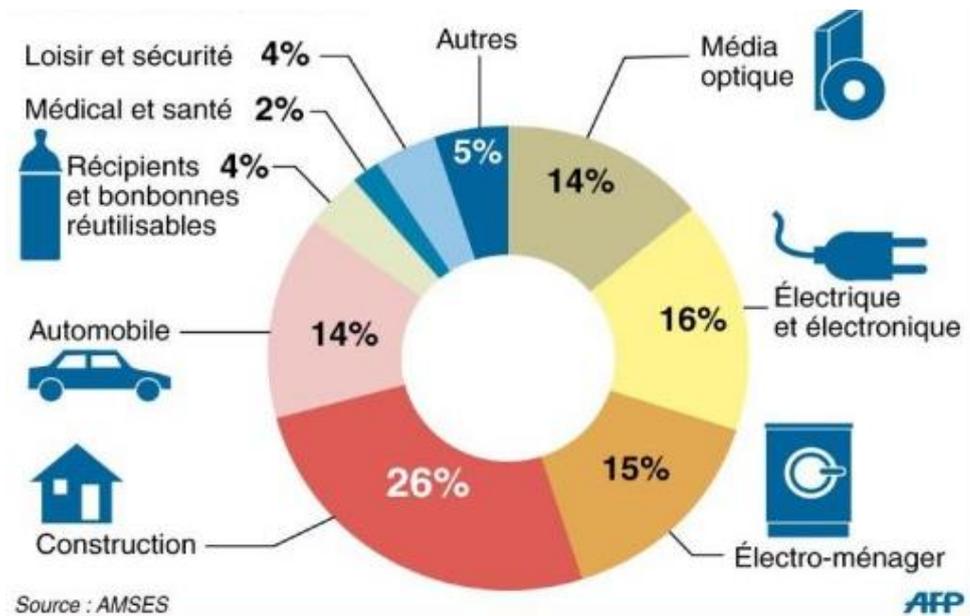
Le BPA est une substance chimique qui est soluble dans l'eau jusqu'à 120 ppm à température ambiante et se volatilise à une température d'ébullition comprise entre 250 et 252°C (INRS, 2018). Il se dégrade rapidement dans l'eau en présence d'oxygène avec une période de demie

vie comprise entre 2,5 à 4 jours (INERIS, 2010). C'est ce qui explique sa faible potentialité de bioaccumulation dans les organismes aquatiques (Danzl et al., 2009). Cependant, il montre une forte résistance en milieux aquatiques anoxiques avec une demie vie supposée supérieure à une année (INERIS, 2010). Ses principales caractéristiques physicochimiques sont résumées dans le tableau 3.

Tableau 3: Propriétés physicochimiques du BPA (INRS,2018)

Nom de la substance	Paramètres physico-chimiques	Valeurs
Bisphénol A	N°CAS :	80-05-7
ou	Formule brute	C ₁₅ H ₁₆ O ₂
4,4'-dihydroxy-2,2-	Masse molaire (g/mol)	228,29
diphénylpropane	Température de fusion °C	150-157
ou	Température d'ébullition °C	250-252 sous 1,7 kPa
Diphénylolpropane	Pression de vapeur (Pa)	5,3 10 ⁻⁶ à 25°C
ou	Densité	1,1 – 1,2 à 25°C
4,4'-Isopropylidènediphénol	Etat physique	Solide
ou	Solubilité	120 ppm à 25°C
2,2-bis(4-hydroxyphényl) propane	Coefficient octanol eau (Kow)	3,4

Le BPA est une substance exclusivement anthropique destiné à rendre les corps plus durs (plus résistants aux chocs et à la chaleur) et transparents (Vandenberg et al. 2007 ; INERIS 2010 ; AFSSA 2008). Ainsi il est utilisé dans la fabrication de divers matériaux tels que les récipients de conservation des aliments, des ustensiles de cuisine, des matériels de vaisselle, des masques de protection, des disques compacts (CD), des peintures, des encres, des revêtements de cuves, des canalisations, des amalgames dentaires (INERIS, 2010). Outre cela, le BPA est aussi utilisé dans le revêtement intérieur des canettes et boites de conserve et les emballages de conditionnement d'eau (OMS et FAO, 2009; Adamo et al., 2010). Il sert également comme additifs dans la fabrication des papiers thermosensibles tels que les tickets de caisse, les reçus de cartes bancaire, des badges d'identification, les produits cosmétiques (rouge à lèvres, vernies, maquillage du visage et des jeux, etc.)(INERIS 2010). La figure 3 décrit quelques usages courants attribués au Bisphénol A.



Source: Advanced Modeling and simulation in Engineering Sciences

Figure 3 : Différents usages du bisphénol A

2.2- Contamination de l'homme au bisphénol A

La contamination au BPA se fait suivant trois voies essentiellement qui sont la voie cutanée, la voie respiratoire et la voie buccale qui se fait par l'ingestion des aliments et boissons contaminées (ANSES, 2011, 2013). Cette dernière est la principale voie de contamination (Schlienger, 2014; Adamo et al. 2010) qui indexent la diffusion du polluant (BPA) du contenant vers le contenu. Pour ANSES (2018), l'alimentation contribue à plus de 80% à l'exposition humaine au bisphénol A.

En 2006, l'Autorité Européenne de Sécurité des Aliments fixe la Dose Journalière Acceptable (DJA) ou Dose Journalière Tolérable (DJT) de 0,05 mg par kg de poids corporel et par jour qui correspond à la quantité de substance pouvant être ingérer par l'homme chaque jour sans risque pour sa santé (European Food Safety Authority, 2008). Cette DJA a été obtenue en appliquant le facteur 100 à la Concentration Sans Effets Nocifs Observés (CSENO) générale de 5 mg/kg de poids corporel et par jour. Le BPA est rependu dans nos aliments et imprégnant plus de 95% des populations et ce pendant plusieurs dizaines d'années (Nalbone et al., 2010). Une autre étude menée en Amérique sur les urines de 395 adultes a montré la présence du BPA dans 95% des cas avec une teneur allant de 1,33µg/L à 5,18µg/l (Calafat et al., 2005).

En 2008, 90% des biberons vendus en France étaient en polycarbonate donc fabriqués avec le BPA (Monneret 2010). Pourtant, selon cet auteur lorsqu'on introduit de l'eau chaude ou

que l'on chauffe les contenus de ces biberons via un traitement au four à micro-ondes, il y a un transfert du BPA vers les contenus. Les polycarbonates et les résines peroxines sont fabriqués avec le BPA qui migre vers les aliments qui leur font contact et ce phénomène est accéléré en présence de la chaleur. C'est dans le souci de clarifier cette migration du BPA que Yerbanga (2015) a mis en place une méthode d'extraction du BPA dans les eaux de consommation au LNSP de Ouagadougou.

2.3- Les effets du bisphénol A sur la santé humaine

Classé comme perturbateur endocrinien, le BPA a de multiples effets sur la santé humaine (OMS et FAO 2009; Monneret 2010; M. Stefanidou et C. Maravelias and C. Spiliopoulou 2009). La fiche toxicologique du composé indique qu'il peut nuire à la fertilité (H360F), irriter les voies respiratoires (H335), provoquer des graves lésions des yeux (H318), provoquer une allergie cutanée (H317). L'exposition prénatale du nouveau-né au BPA serait responsable d'une altération morphologique et fonctionnelle comme la baisse de la fertilité, l'apparition des cancers de sein et de prostate (Monneret, 2010). Selon cet auteur le BPA présent dans les matériaux alimentaires tels que les biberons et des emballages d'eau demeure une préoccupation majeure. Les populations les plus exposées sont les nouveau-nés et les jeunes enfants (M. Stefanidou et al. 2009; OMS et FAO, 2009). Les rares études menées chez l'homme ont montré que le BPA serait impliqué dans les problèmes de reproduction avec une baisse de la qualité du sperme et des fréquences élevées des fosses couchées (Monneret, 2010). Il est également sujet à de nombreuses maladies néfastes telles que le diabète de type 2, l'obésité, le cancers du col de l'utérus et un dysfonctionnement des thyroïdiens (Monneret, 2010). En plus le BPA pourrait également être responsable des accouchements précoces des femmes enceintes exposées à la contamination. En effet des chercheurs américains (Calafat et al. 2008) ont montré que lors de leurs traitements médicaux, les enfants prématurés étaient sujet à l'absorption de BPA et autres perturbateurs endocriniens. En 2017, le BPA a été identifié comme une substance très préoccupante par le comité des Etats membres de l'agence européenne des produits chimiques en raison de ses propriétés de « perturbateur endocrinien et autres caractéristiques toxiques » pour la santé humaine et l'environnement (INRS, 2018). Cependant une précédente étude fut menée à Ouagadougou par Fonkeu en 2000 et arrivait à la conclusion que les adjuvants organiques sont présents à l'état de trace dans les sachets plastiques et ne sont donc pas nocifs à la santé.

2.4- La controverse sur le bisphénol A

Pour ces dernières années, le BPA est l'une des substances les plus étudiées dans le monde avec des centaines de publications et de revues chaque année (OFSP, 2019). Cependant selon cet auteur, il ne cesse de diviser les scientifiques sur les questions de sa toxicité avérée et à la décision de l'interdire. Ainsi certains auteurs trouvent que le bisphénol A ne doit pas faire l'objet d'interdiction car le risque d'intoxication peut être juger moindre pour l'homme au vu de la faiblesse des concentrations. La plupart des résultats d'analyse de BPA au laboratoire n'ont pu être reproduits exactement par le même laboratoire ou par d'autres laboratoires. En plus l'absence de contrôle des analyses, l'utilisation des méthodes non reconnus, l'utilisation des animaux plus ou moins sensibles que l'homme, constituent des facteurs qui ne garantissent pas la fiabilité de ces études. Ce qui constituent un manque de preuves tangibles qui divisent la communauté scientifique qui s'affronte sur l'innocuité ou pas du BPA et qui divise également les législations et les pays. En effet, si pour les pays tels que Canada, la France ou le Danemark, le BPA est toxique et doit être interdit pour des raisons de précaution, d'autres comme le Japon et l'Australie trouvent que les preuves ne sont pas assez suffisantes pour interdire cette substance qui, jusque-là est « indispensable » dans l'industrie du plastique (OFSP, 2019).

Le BPA est donc une substance omniprésente dans le monde (même dans les aliments), mais les questions de sa faible concentration et de sa toxicité restent controversées (Little et Seebacher, 2015).

2.5- La réglementation internationale sur le bisphénol A

Bien qu'étant l'une des substances les plus étudiées dans ces dernières années dans le monde, le BPA reste moins connu dans de nombreux Etats. Cependant, au vu de sa toxicité certains pays notamment européens ont pris de l'avance en prenant des mesures de précaution. Ces mesures visent à réduire la teneur ou interdire cette substance dans les biberons, les emballages et les amalgames alimentaires. Le Canada et le Danemark ont été les premiers à l'interdire en 2010 dans les biberons et les contenants dédiés aux enfants de moins de 3 ans. A partir de 2011, la plupart des Etats européens, asiatiques et américains ont également adopté des mesures de prévention pour la protection de leurs populations. Jusque-là l'Afrique du Sud est le seul pays africain qui a une réglementation régissant le Bisphénol A par l'interdiction des biberons en polycarbonate. En 2019, l'Agence européenne des produits chimiques a prononcé l'interdiction du BPA dans les tickets de caisse et l'application de cette restriction était prévue pour le 1^{er} janvier 2020 (OFSP, 2019). L'annexe

1 présente la liste des pays qui ont déjà pris des mesures de précaution face au BPA.

3- La dégradabilité et la biodégradabilité de la matière plastique

Ce sont un ensemble de processus ou étapes qui concourent à la fragmentation puis à la minéralisation partielle ou totale de la matière plastique.

3.1- La dégradabilité de la matière plastique

La dégradation est un processus conduisant à la fragmentation de la matière plastique. C'est un phénomène abiotique causé par des facteurs tels que l'oxygène, l'eau, la lumière et la chaleur (Hadda, Bellahmer, et Ikhlef 2018). Plusieurs études ont montré que les polymères des plastiques peuvent être dégradés suivant plusieurs mécanismes :

- Dégradation thermique

C'est une décomposition chimique des polymères en monomères causée par la chaleur. Ainsi en fonction de l'intensité ou de la durée d'exposition de la chaleur au plastique, elle est à mesure de fractionner les différents polymères de celui-ci (Abdeladim et Benbatouche 2013).

- Dégradation photo-thermique

C'est une dégradation de la matière plastique amorcé par l'effet des rayons UV. Cela se fait par la présence des chromophores (groupements carbonyles, les résidus de catalyseurs et des traces métalliques) dans les polymères susceptibles d'absorbé des radiation des rayons UV puis formés des radicaux libres qui dégradent la matière organique et les différentes chaines des polymères(Abdeladim et Benbatouche 2013).

- Dégradation oxydative

Les polymères plastiques en contact avec l'oxygène et l'air s'oxydent par le phénomène de l'oxo dégradation. Elle consiste en une réaction de l'oxygène avec la matière plastique pour former des molécules plus petites qui peuvent encore réagirent avec l'eau. L'annexe 2 présente le processus de la dégradation du BPA par *Pseudomonas aeruginosa* (PAb1).

3.2- La biodégradabilité de la matière plastique

C'est la dégradation de la matière plastique par les bactéries ou les agents biologiques. Par abus de langage, les autres types de dégradation sont aussi appelé biodégradation pour désigner la détérioration ou la perte d'intégrité physique de la matière plastique. Ainsi on peut clairement définir la biodégradabilité comme étant un procédé induit par une activité biologique qui conduit à un changement de la structure chimique de matériau en produit métabolique naturel.

Pour être plus efficace, la biodégradation est précédée par une simple dégradation qui fragmente les polymères et les grosses molécules. Ceci est suivi par une minéralisation des petits fragments bio-assimilables par les microorganismes. C'est par la production des enzymes (intra et extracellulaires) tels que les dépolymérisés et les hydrolases, que les microorganismes parviennent à la dégradation de la matière plastique. L'annexe 3 présente le processus de la dégradation du plastique par les microorganismes. Cette activité des microorganismes se réalise aussi bien en condition aérobie qu'en condition anaérobie. Les microorganismes secrètent des enzymes (dépolymérase) qui vont fractionner les polymères en oligomères, dimères et en monomères puis en biomasse microbienne avec une production du dioxyde de carbone, du méthane et de l'eau. Mais en réalité la dégradation et la biodégradation sont complémentaires. Les facteurs tels que l'oxygène, la chaleur, l'humidité et les UV commencent la désintégration des matières plastiques qui seront facilement minéralisés par les microorganismes. L'annexe 4 présente la dégradation conjuguée à la biodégradation pour une minéralisation du plastique.

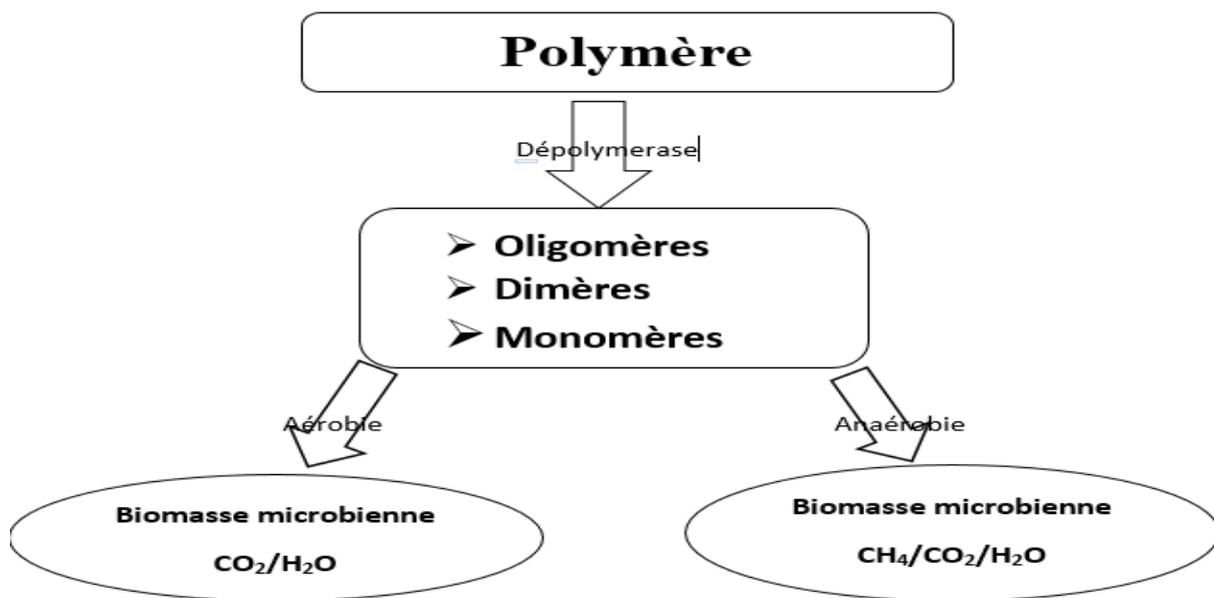


Figure 4 : La biodégradation des polymères par les microorganismes

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

1- Présentation de la zone d'étude

L'étude a été menée dans la ville de Ouagadougou, la capitale du Burkina Faso. C'est le plus grand centre économique et culturelle du pays. Avec une population estimée 2 684 052 habitants en 2020, c'est une grande agglomération qui croît continuellement avec un taux de croissance annuelle de 7,6% (INSD, 2020). L'évolution de la population de 1985 à 2019 est résumée dans le tableau 3. Chef-lieu de la région du centre, Ouagadougou compte 12 arrondissements qui sont subdivisés en 52 secteurs. Elle est limitée à l'Est par la commune rurale de Saaba, au Nord par la commune rurale de Pabré, à l'Ouest par la commune rurale de Tanghin-Dassouri et au Sud par les communes rurales de Komsilga et de Koubri. Avec une superficie de 2857,124 km² la capitale burkinabé est située entre les parallèles 12°30' et 12°25' de latitude Nord et les méridiens 1°27 et 1°35 de longitude Ouest.

Tableau 4: Evolution de la population de la ville de Ouagadougou

Années	1985	1996	2006	2012	2016	2019
Populations	465 969	750 398	1 475 223	1 915 102	2 650 000	2 966 307

Source : INSD, Recensements généraux de la population et l'habitation 1985, 1996 et 2006, Enumération de la Population de Ouagadougou et Bobo Dioulasso (EPOB) 2012.

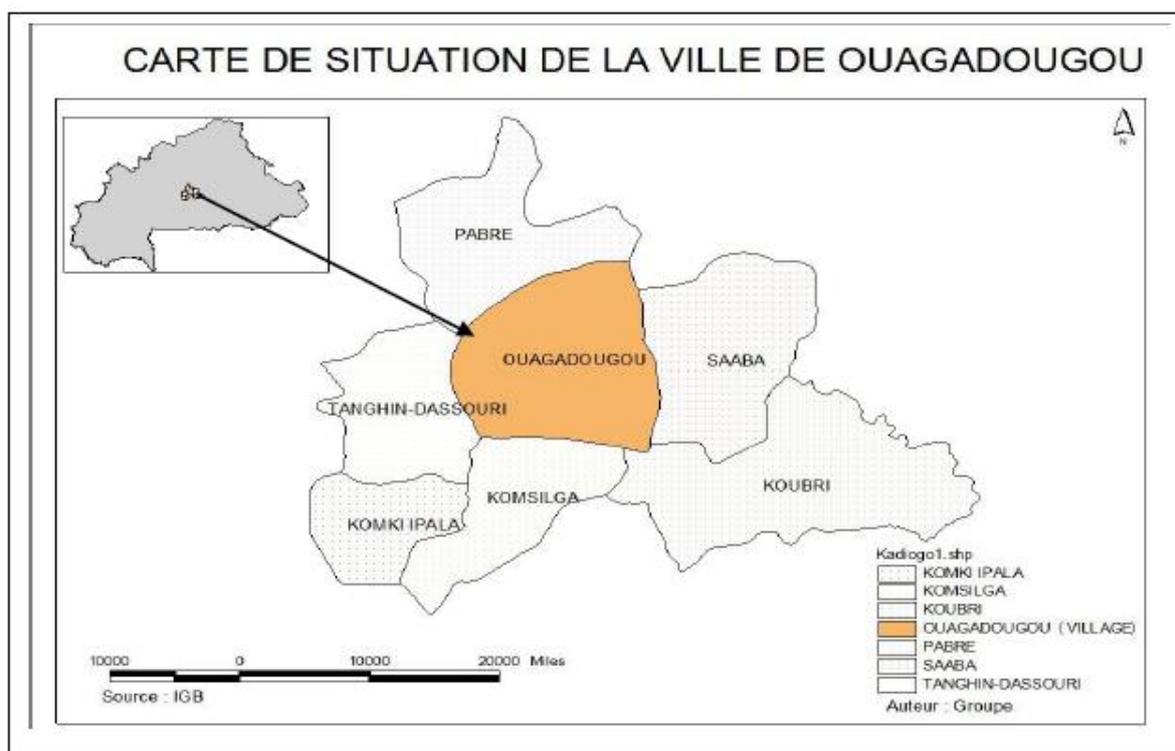


Figure 5 : Présentation de la zone d'étude

2- Présentation de la structure et du service d'accueil

Le stage s'est déroulé au Laboratoire National de Santé Publique (LNSP). Le LNSP est un Etablissement Public de Santé (EPS) non hospitalier, dont l'objet principal est de servir d'instrument de référence au Burkina Faso pour l'amélioration de la santé des populations. Il a vu le jour par le décret n°99-377/PRES/PM/MS du 28 octobre 1999 portant création du Laboratoire national de santé publique (LNSP) et ensemble modificatif.

L'organigramme actuel du LNSP est composé d'une Direction générale, de 9 directions techniques, d'une agence comptable et de deux directions régionales. Ce présent stage s'est déroulé à la Direction de la toxicologie, du contrôle de l'environnement et l'hygiène publique (DTCE/HP) qui se composent de cinq services :

- Le service des drogues et tabacs
- Le service de contrôle de l'environnement et de l'hygiène publique
- Le service de la radioprotection
- Le service des contaminants, des pesticides et des engrais dans l'environnement
- Le service des analyses et expertises de toxicologie

A la DTCE/HP, ce stage s'est déroulé plus précisément au service de contrôle de l'environnement et de l'hygiène publique (SCE/HP). Ce service a pour mission de :

- Surveiller la qualité des eaux qui sont destinées à la consommation humaine ;
- Suivre les rejets polluants des différentes unités industrielles dans l'eau et l'air ;
- Contribuer à la protection des populations contre les intoxications dues aux métaux toxiques contenus dans l'environnement ;
- Réaliser des audits et des expertises dans le cadre de l'installation et du fonctionnement des unités de productions d'eau ;
- Contribuer à la réalisation ou à la validation des études de faisabilité des projets susceptibles d'avoir des répercussions sur la santé publique ;
- Participer, en liaison avec les services compétents, à la mise en place d'une politique de réduction de la pollution dans l'environnement.

3 Echantillonnage et traitement des échantillons

3.1- Échantillonnage

Pour avoir une vue d'ensemble sur le transfert de ces substances (BPA et ETM), le choix des échantillons a été fait en fonction de la nature physique des contenants. Les emballages des différentes unités de production d'eau diffèrent en fonction de la présence ou non de

languette d'écriture, de la rugosité et de l'épaisseur. En outre, un autre critère de choix de ces échantillons a été la répartition géographique des unités de production dans la ville de Ouagadougou. En effet ce choix permettra de connaître la teneur des éléments traces métalliques et du BPA en fonction des différentes zones de la ville. Pour des contraintes matérielles, il a été décidé de retenir un échantillon de 10 marques d'eaux conditionnées sur les 16 qui ont un protocole d'analyse avec le LNSP. Le tableau 5 présente les caractéristiques physiques des sachets et la répartition géographique des échantillons dans la ville de Ouagadougou.

Tableau 5: Caractéristiques physiques des sachets et répartition géographique des échantillons

Code des échantillons	Rugosité	Présence de languette	Localisation
1	Lisse	Oui	Nord
2	Lisse	Non	Ouest
3	Rugueux	Oui	Sud-Est
4	Lisse	Oui	Nord
5	Rugueux	Non	Sud
6	Rugueux	Non	Est
7	Lisse	Non	Est
8	Lisse	Non	Sud
9	Rugueux	Non	Sud
10	Lisse	Non	Ouest

La figure 6 présente la répartition géographique des échantillons dans la ville de Ouagadougou

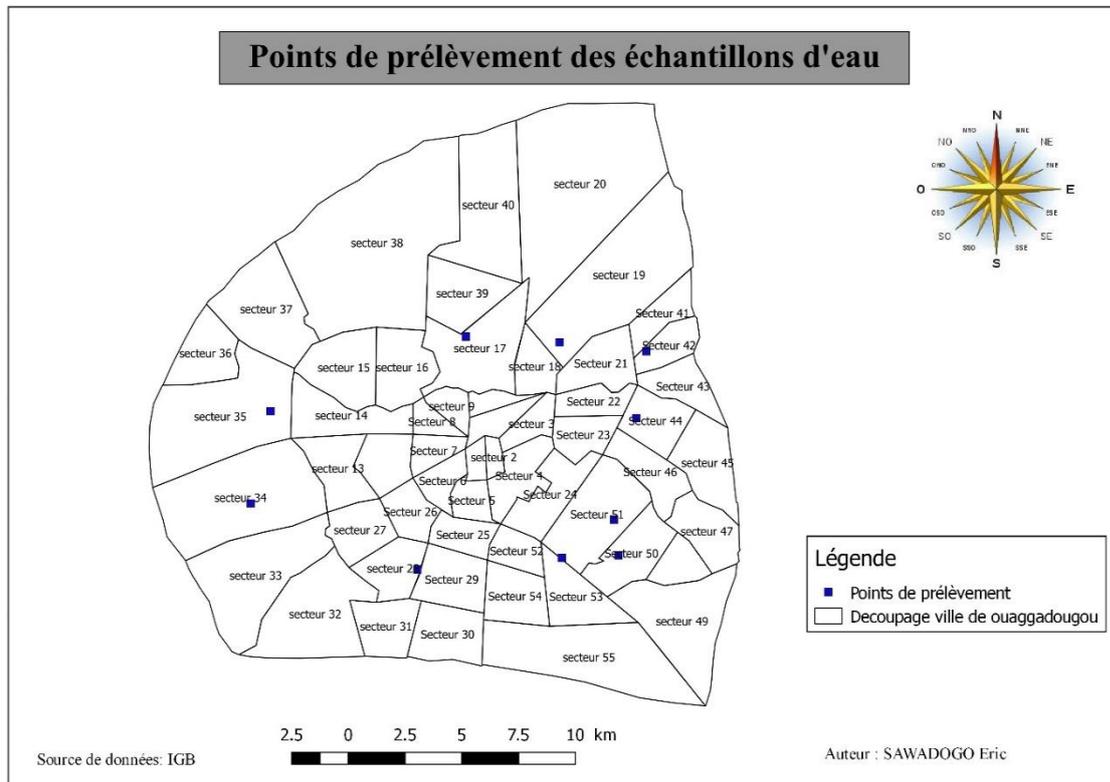


Figure 6 : Répartition géographique des échantillons dans la ville de Ouagadougou

Enfin la biodégradabilité ou l'oxo biodégradabilité a été un critère retenu pour le choix des échantillons. Ce test de biodégradabilité a été réalisé à l'aide d'un Testeur XRF au Laboratoire d'Analyse de la Qualité de l'Environnement (LAQE) du Ministère de l'Environnement, de l'Economie verte et du Changement Climatique. Cet appareil scan les contenants plastiques et donne non seulement leurs concentrations en fer, manganèse et en cobalt mais aussi le constat sur la biodégradabilité. Un bon nombre de métaux comme le fer, le plomb, le cobalt, le manganèse, l'antimoine et bien d'autres éléments traces entrent la composition des plastiques afin d'améliorer la qualité et d'accélérer leur biodégradabilité. C'est pourquoi le choix a été porté sur les sachets qui ont des teneurs les plus élevées en ces métaux afin de vérifier leurs éventuels transferts vers les eaux conditionnées. Le tableau 6 présente les teneurs en fer, manganèse et cobalt donné par le testeur XRF et qui ont servi de critère de choix de nos échantillons

Tableau 6: Les teneurs en fer, manganèse et de cobalt donné par le testeur XRF

Code échantillon	Paramètres (en ppm)			Résultats du standard	Résultats P/F/X
	Fer	Manganèse	Cobalt		
1	33	38	2	OXO Bio Dégradable	Validé
2	24	48	2	OXO Bio Dégradable	Validé
3	52	16	3	OXO Bio Dégradable	Indéterminé
4	38	25	3	OXO Bio Dégradable	Validé
5	58	12	2	OXO Bio Dégradable	Indéterminé
6	73	13	2	OXO Bio Dégradable	Indéterminé
7	81	17	2	OXO Bio Dégradable	Validé
8	75	32	3	OXO Bio Dégradable	Validé
9	45	47	4	OXO Bio Dégradable	Validé
10	70	33	4	OXO Bio Dégradable	Validé

C'est en tenant compte de tous les critères de sélectivité, que ces dix (10) échantillons (sur les seize unités de production qui sont sous protocole à Ouagadougou) ont été retenus pour la suite de l'étude afin de vérifier le relargage des éléments dans les eaux conditionnées. Ces échantillons sont choisis parmi ceux qui font l'objet d'analyse régulier au LNSP. Pour chaque unité de production des prélèvements d'un pack de quarante sachets d'eau et d'un litre au niveau du forage ont été faits. Les prélèvements ont été réalisés avec des flacons en verre borosilicaté de 500 mL stérilisés

3.2- Recherche de BPA dans les eaux conditionnées

Le BPA a été analysé par un chromatographe gazeux couplé à un spectromètre de masse (GC-MS) de marque AGILENT dont une image est présentée à la figure 7. Les analyses ont été réalisées après une validation interne de la méthode. Une partie du stage a été consacrée à la réalisation de cette activité dont certaines opérations sont décrites dans les parties qui suivent.



Figure 7 : Chromatographe GC- MS du LNSP utilisé pour le dosage du BPA

3.2.1- Essai de la méthode d'analyse

La méthode utilisée pour l'analyse du BPA est une méthode interne du LNSP. Avant de procéder à cette analyse du BPA dans les différents échantillons, nous avons procédé à la vérification de la méthode. Cette vérification a pour optique de connaître l'efficacité ou le rendement de la méthode avant son utilisation dans cette étude.

3.2.1.1- Le calibrage de la GC/MS

Afin de mener à bien cette opération de calibration, une gamme de calibration a été préparée avec des solutions de concentrations bien connues. Ainsi huit solutions filles de concentrations différentes (12,5ppm, 6,25ppm, 3,125ppm, 1,56ppm, 0,95ppm, 0,78ppm, 0,39ppm, 0,098ppm et 0,049ppm) de BPA ont été préparées pour la calibration de la GC-MS. On procède donc à une dissolution de 5mg de BPA dans 25mL d'acétonitrile qui seront par la suite dilués au dixième avec de l'eau ultrapure. Le BPA est soluble dans l'acétonitrile qui est miscible dans l'eau, ce qui va permettre une homogénéisation parfaite de la substance dans la solution. Le GC/MS a été calibré avec les huit solutions filles précédemment préparées. La courbe d'étalonnage fait le lien entre l'absorbance et la concentration du bisphénol A. Elle a été réalisée en obtenant une droite de corrélation $r^2 = 0,995$ (figure 8).

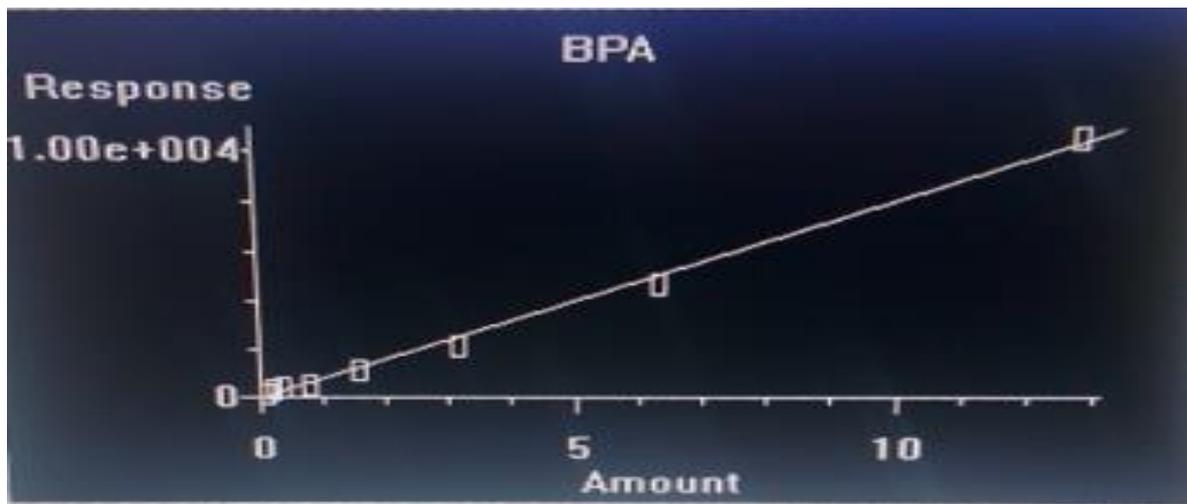


Figure 8 : Droite de corrélation de la calibration du BPA

3.2.1.2- Vérification du rendement de la méthode

Pour vérifier le rendement de la méthode, il a été procédé au dopage de l'échantillon. A partir de la solution dopée de 100ppm, trois autres solutions filles de concentrations 1 ; 5 et 10 mg/L ont été préparées par dilution avec de l'eau ultrapure. Ces échantillons seront convenablement traités et analysés afin de vérifier le rendement de la méthode. Le mode opératoire pour l'analyse de cette solution dopée est fourni en annexe 5.

3.2.1.3- Analyse de la solution dopée

La solution dopée a suivi une série de traitement avant d'être injecter dans le chromatographe. Le dichlorométhane est le solvant utilisé pour l'extraction du PBA. En outre dans le souci de l'amélioration du rendement de l'extraction, un kit d'extraction a été introduit. Après l'extraction l'échantillon est purifié puis concentré à l'évaporateur rotatif (de type rotavapor réglé à 40°C). Son principe est d'élever la température de l'échantillon et d'aspirer le dichlorométhane afin d'avoir un faible volume contenant les particules dont les particules recherchées (BPA). Le concentrât de 150µL est alors introduit dans un insert placé dans un vial de 2ml. Les vials sont placés sur la GC/MS pour être injecter et analyser. Avec un coefficient de corrélation de 0,995, les résultats de cette analyse ont été obtenue avec les fragments majoritaires suivants :

- Le quantifier : 213
- Les qualifieurs : 228,119 et 91

Le tableau 7 donne les taux de récupération du Bisphénol A avec la GC/MS en fonction des concentrations préalablement dopées.

Tableau 7: Taux de récupération du Bisphénol A avec la GC/MS

Concentrations des solutions dopées (en ppm)	Concentrations détectées par la GC/MS (en ppm)	Taux de récupération (%)
1	1,01	101
5	5,2	104
10	10,5	105
Taux moyen		103

Ce taux moyen de 103% a été jugé satisfaisant et par conséquent la méthode a été jugée apte à être utilisée pour le dosage du bisphénol A dans les eaux de consommation. En effet la procédure interne du LNSP recommande un taux de récupération compris entre 75% et 120%. Ce taux supérieur à 100% s'explique par des interférences notamment les effets de matrices et l'absence de calibration interne pour corriger la gamme de calibration et les incertitudes.

3.2.3- L'analyse des échantillons

Une fois que l'essai de la méthode a été concluante tous les échantillons ont été traités conformément à cette méthode avec le même appareil, le GC-MS. Pour chaque échantillon, il y'a eu une analyse de l'eau souterraine à la température ambiante puis celles des eaux conditionnées à 18°C, 29°C et 39°C à la deuxième, quatrième et huitième semaine. Ceci est fait dans l'optique de suivre le comportement des éléments traces et du BPA contenus dans le plastique en fonction du temps et la température. C'est trois températures de conditionnement des échantillons ont été données par les relevés météorologiques de la ville de Ouagadougou avec :

- 18°C la moyenne des températures annuelles les plus faibles ;
- 29°C la moyenne des températures moyenne annuelles ;
- 39°C la moyenne des températures annuelles les plus élevées.

3.3- Recherche des éléments traces métalliques

3.3.1- Acidification des échantillons

Après la collecte des échantillons, ceux des forages ont été acidifiés immédiatement avec l'acide nitrique. Cette acidification a été faite dans le but d'empêcher une éventuelle réaction entre les éléments recherchés (fer et le cadmium) avec d'autres éléments physico-chimiques

en solution dans l'échantillon et une adsorption sur les parois du récipient. Elle a été faite de sorte à avoir une concentration d'acide de 5% v/v.

3.3.2- Analyse des échantillons

L'analyse des échantillons est faite à l'aide d'un spectromètre d'absorption atomique à flamme de marque VARIAN et de série AA240FS. La méthode directe a été utilisée pour le dosage des échantillons. La figure 9 présente l'image de la spectrométrie d'absorption atomique à flamme utilisée dans le cadre de ces travaux.



Figure 9 : Spectrométrie d'absorption atomique à flamme

La gamme de calibration a été faite avec un standard normalisé multiéléments qui a donné des courbes de calibration inscrites sur les figures 10 et 11 respectivement pour le cadmium et le fer

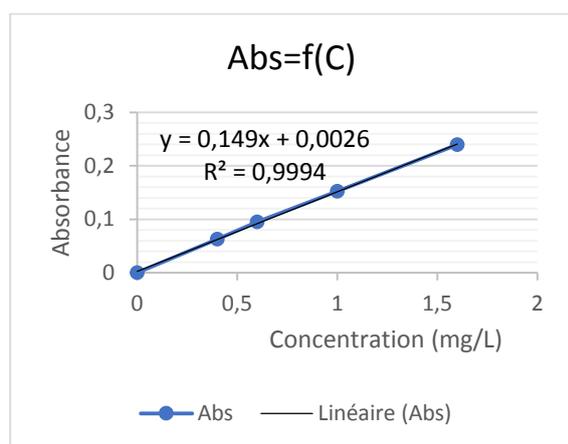


Figure 10 : Droite d'étalonnage du cadmium

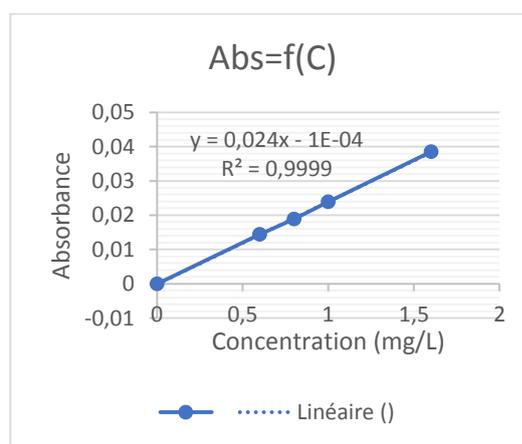


Figure 11 : Droite d'étalonnage du fer

3.4- Evaluation de la biodégradabilité des emballages

La biodégradabilité des emballages contenant les eaux conditionnées est évaluée par un testeur XRF. C'est un appareil qui permet de détecter l'oxo biodégradabilité des matières plastiques notamment les sachets. Une matière oxo biodégradable est faite avec des additifs de dégradation (des éléments traces) qui s'intègrent dans sa matière de base et qui se désintègre dans l'environnement par oxydation des liaisons carbones hydrogènes et par une diminution de la masse molaire moléculaires dues à la lumière et la chaleur. Ce testeur XRF encore appeler d₂detector permet de détecter la présence et la concentration des additifs de dégradation nécessaire à sa biodégradation en un temps donné. Il donne la concentration des différents éléments traces paramétrés et le verdict sur la biodégradabilité. Le protocole d'analyse et le schéma de cet appareil sont présentés par l'annexe 6.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

La production et la commercialisation d'eau conditionnée en sachet est une activité faisant appel à une chaîne d'opérations. Une meilleure interprétation des résultats requiert un examen approfondi des différents éléments de la chaîne. De même, le devenir du BPA pouvant être influencé par plusieurs paramètres, nous avons voulu mettre en évidence l'impact des conditions de conservation sur son transfert dans le produit. Ce chapitre présente aussi, les résultats de la mise en évidence d'autres micropolluants présents dans les matières plastiques et dans les eaux conditionnées en sachet soumis à l'étude.

1- Etat des lieux

Les enquêtes directives et semis directives (par administration des questionnaires et entretiens avec les acteurs) et les sorties sur le terrain ont permis de découvrir les réalités sur la production, le transport et la conservation des eaux conditionnées. L'annexe 7 présente la fiche d'enquêtes à l'endroit des dix producteurs. Les résultats de ces enquêtes permettent de mieux situer l'étude et de mieux analyser les résultats trouvés.

1.1- La production des eaux conditionnées

La production d'eau conditionnée est une activité relevant du ministère en charge de l'industrie et du commerce. L'ouverture d'une unité de production est donc soumise à autorisation pour s'assurer du respect du cahier de charge par le promoteur. Parmi les éléments du cahier de charge figure l'inspection sanitaire du site de production avant l'ouverture de l'activité. Cette inspection a pour but de vérifier la conformité des locaux et des normes en matière d'hygiène du milieu et le professionnalisme des employés. Cette expertise est menée conjointement par des structures compétentes relevant de plusieurs ministères :

- le Laboratoire National de Santé Publique (LNSP) et la Direction Promotion de la Santé (DPS) pour le compte du Ministère de la Santé ;
- le Bureau National des Evaluations Environnementales (BUNEE) et le Laboratoire d'Analyses de la Qualité de l'Environnement (LAQE) pour le compte du Ministère en charge de l'environnement ;
- l'Agence Burkinabé de Normalisation, de la Métrologie et de la Qualité (ABNORM) pour le compte du Ministère du Commerce, de l'Industrie et de l'Artisanat ;

La police de l'eau contrôle également ces unités de production d'eau potable. Tout ceci concourt à l'amélioration de la qualité microbiologiques et physico-chimique des eaux conditionnées.

Le mode de production n'a pas été codifié par les textes. Toutefois, les observations ont permis de noter que l'eau de forage est la source utilisée par toutes les unités de production. Par contre le circuit de l'eau du forage à l'unité d'ensachage diffère d'une unité à l'autre. Ainsi aux systèmes plus complexes avec des dispositifs de prétraitement et de déminéralisation constitués d'unités à base de membranes denses et de tank d'ajout de substances minérales, s'opposent des circuits simples avec une distribution de l'eau à partir d'un réservoir de stockage.

A l'analyse, les unités semi automatisées semblent offrir plus de garanti relativement à la qualité du produit final et au respect des normes de bonne production. D'autre part, il a été noté un meilleur respect des règles d'hygiènes et de sécurité dans les unités de plus grande envergure. Cela pourrait être attribuée au niveau de qualification plus important des agents et des sessions de formation continue qui leur est offert par les promoteurs. Il apparait donc utile de proposer un modèle minimum de niveau technique à imposer au promoteur dans le cahier des charges régissant l'activité de production des eaux conditionnées.

1.2- Le transport et la distribution des eaux conditionnées

Après la production, le produit fini doit être acheminer dans les entrepôts des distributeurs grossistes ou dans les rayons des commerçants c'est-à-dire les centres de distribution et/ou de consommation. Ce maillon est assuré par des moyens de locomotion variés constitués notamment de camions, véhicules utilitaires et de tricycles. Ainsi, il ressort que plus de 60% des produits sont transportés par des tricycles du fait de leur coût relativement faible, de l'entretien et la maintenance relativement moins chers par rapport aux véhicules utilitaires (assurance, visite technique, taxe sur les véhicules à moteur, ...) et de la plus grande flexibilité d'utilisation (permis de conduire, possibilité d'honorer rapidement de petites commandes). Le transport est essentiellement à la charge des producteurs et ne se fait pas sans difficultés. En effet les camions tombent le plus souvent en panne et entraine par conséquent des retards dans l'écoulement des productions. En outre plus de 60% des moyens de transport ne sont pas couverts et ce qui expose les eaux conditionnées à la poussière et aux rayons du soleil surtout pendant la chaleur. Les figures 11 et 12 présentent respectivement les proportions des moyens de transport et les proportions de conformité pour

le transport des eaux en sachets dans la ville de Ouagadougou

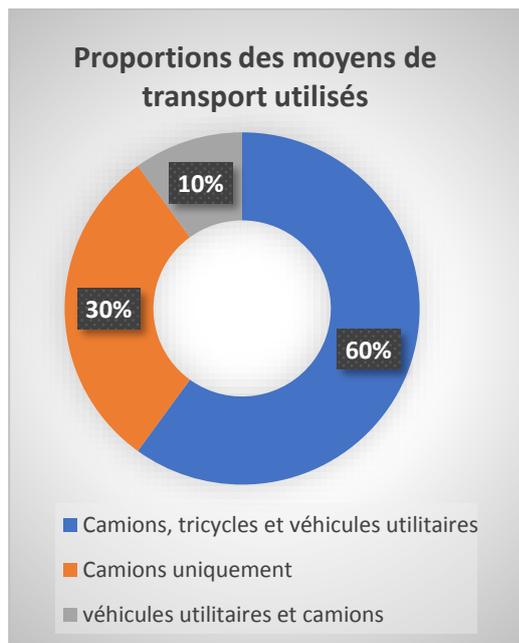


Figure 12 : proportion des moyens de transport des eaux en sachet

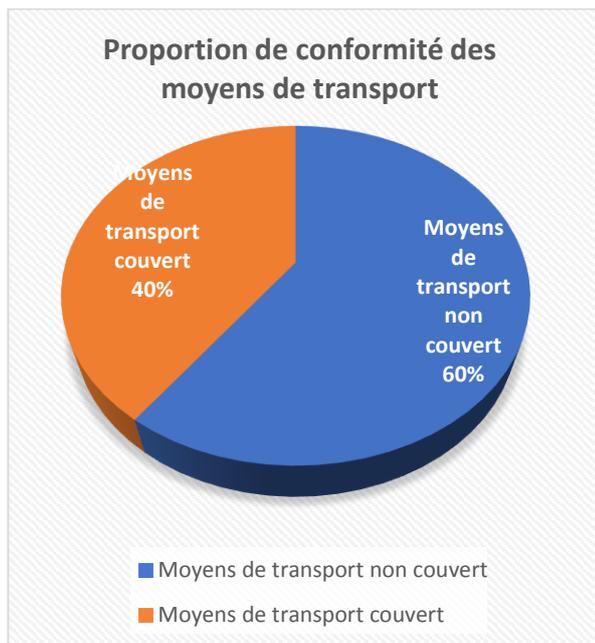


Figure 13 : proportion de conformité des moyens de transport des eaux en sachet

Les figures 14 présentent des conditions de transport des eaux en sachet à l'aide d'un camion et d'un tricycle.



Figure 14 : Conditions de transport des eaux conditionnées en sachet à Ouagadougou

1.3- Le stockage des eaux conditionnées

Le stockage est la conservation faite des packs d'eaux conditionnées après la production, à la distribution, à la vente et chez le consommateur. Le stockage se fait à trois (3) niveaux :

▪ **Après la production**

Avant le transport la conservation se fait au sein des unités de production d'eau. Les sociétés ont l'obligation d'aménager des salles spacieuses et bien aérées à cet effet. Ce qui permet de conserver les productions à la température ambiante. Celle-ci se fait sur le plancher ou sur des palettes. A cette étape, l'ensemble des unités de production enquêtées ont montré des conditions de stockage convenable.

▪ **Au point de distribution ou de vente**

Le stockage se fait également au point de distribution. Au niveau de la distribution, les grossistes disposent d'entrepôt dans lesquels les produits sont stockés. Au niveau des points de vente les packs d'eau sont généralement entreposés dans des grilles métalliques dotées par les producteurs. Ces grilles même aménagées sont souvent entreposées au soleil et exposées aux intempéries (pluie, poussières).



Figure 15 : Conditions de stockage des eaux conditionnées sur des lieux de commercialisation

▪ **Chez le consommateur**

Au niveau des ménages et au niveau des points de vente en détail, le stockage est relativement meilleur. Il se fait dans des endroits frais, des réfrigérateurs et des glacières.

Le stockage de l'eau se fait donc dans des conditions différentes en fonction de l'étape de la chaîne de consommation. Le stockage chez les grossistes apparaît donc comme le maillon faible de la chaîne avec des conditions ne garantissant pas la qualité du produit. 50% des eaux conditionnées bénéficiaient de conditions de stockage inadéquates. L'exposition au soleil et autres intempéries constituent un risque de détérioration de la qualité des produits. D'autre part, il a également été mis en évidence que les conditions de stockage ne dépendent

pas de la marque du produit. Il est plus généralement lié à la structure de distribution.

2- Le Bisphénol A dans les sources et eaux conditionnées à Ouagadougou

La présence du bisphénol A dans les eaux de consommation peut avoir plusieurs origines dont le plus important risque semble être le transfert du contenant vers le contenu. A cela peut s'ajouter dans une moindre mesure les conditions environnementales de la source et un manque d'hygiène dans la manutention. Dans cette partie, les expériences ont été multiples afin de déterminer l'origine exacte de ce polluant et les facteurs qui favorisent sa migration dans les eaux conditionnées en sachet.

2.1- Le BPA dans les eaux souterraines

La présence de BPA dans les eaux de forage a été évaluée pour l'ensemble des 10 sources utilisées pour la production d'eaux conditionnées dans les unités de production étudiées. Les résultats des analyses des échantillons d'eau sont présentés au tableau 8. Ces résultats montrent l'absence du BPA dans toutes les eaux souterraines échantillonnées mettant ainsi en évidence que le niveau de pollution en BPA dans la ville de Ouagadougou est faible et ne peut parvenir à la contamination de la nappe phréatique. Cela se justifie par l'étude faite par Environnement-Santé (2008) qui affirme que le déplacement du BPA dans la matrice eau et/ou sol est influencé par la physico-chimie du sol récepteur et de l'eau qui y circule en particulier le pH et les propriétés de la matière organique de l'eau. Par contre, d'autres résultats rapportés par Rudel et al. (1998) montrant des concentrations de l'ordre de $1,41.10^{-3}$ mg/L dans des échantillons d'eau souterraine prélevés entre une station épuration et une décharge municipale, justifie que l'état environnemental du site sur lequel doit être implanté l'unité de production doit être scruté de prêt au cours de l'inspection sanitaire précédant l'autorisation d'ouverture.

Tableau 8: Les résultats du Bisphénol A des eaux souterraines des échantillons

	Echantillons d'eau de forage									
Code Echantillon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Teneur en BPA détectée en mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND : non détecté

2.2- Le BPA dans les eaux conditionnées

2.2.1- Effet de la température sur la migration du BPA

Les enquêtes et les observations ont mis en évidence de mauvaises conditions de stockage des eaux conditionnées avec notamment une exposition au soleil. Certains travaux ayant révélé de possibles effets de la température sur la stabilité des eaux conditionnées en sachet, des investigations ont été menées sur les échantillons prélevés. Les 10 échantillons ont donc été soumises à trois températures différentes : 18°C qui représente la moyenne des températures moyennes les plus basses de la ville de Ouagadougou, 29°C qui correspond à la moyenne des températures moyennes ambiantes de la ville de Ouagadougou et 39°C qui représente la moyenne des températures moyennes les plus élevées de la ville de Ouagadougou. Le conditionnement des échantillons à ces trois températures a été fait des étuves et les résultats obtenus des analyses sont présentés à la figure 16. Les résultats obtenus montrent que d'une absence de BPA dans les eaux à la sortie des chaînes de production, des teneurs en BPA atteignant 0,780 mg/L ont été obtenues dans les mêmes eaux conditionnées exposées à des températures élevées. Cette substance préalablement absente dans les eaux des forages et qui se retrouve dans les eaux conditionnées laisse suspecter les contenants comme la source de contamination. Ce qui montre que les sachets utilisés pour le conditionnement sont fabriqués à base de polycarbonates et/ou la résine qui sont faits à base du bisphénol A. Ces résultats sont conformes à ceux de Cadi et al. (2012) qui soutiennent que la plupart des matières plastiques sont faites à base de polycarbonate ou de la résine et par conséquent à base du bisphénol A.

Il apparaît aussi qu'aux faibles températures le BPA est quasiment absent de toutes les eaux conditionnées étudiées après 14 jours de stockage. Les résultats montrent également la présence de Bisphénol A sur tous les échantillons étudiés aux températures ambiantes et fortes de la ville de Ouagadougou. L'analyse des résultats obtenus montre une augmentation de la concentration de BPA dans les eaux conditionnées en sachet avec la température. Ainsi une élévation des températures conduit à une augmentation des concentrations en BPA des échantillons. La température accélère donc la fragmentation puis la dépolymérisation des polycarbonates et des résines peroxydes et entraîne la libération des monomères (Lezam et Zerka 2015) dont le BPA (OFSP 2019; Cadi et al. 2012b). Tels ont été aussi les résultats de l'étude de Brede et al. (2003) qui a rapporté que l'usage des contenants plastiques conduit à la migration du BPA dans l'eau surtout quand on élève la température. Pour d'autres auteurs

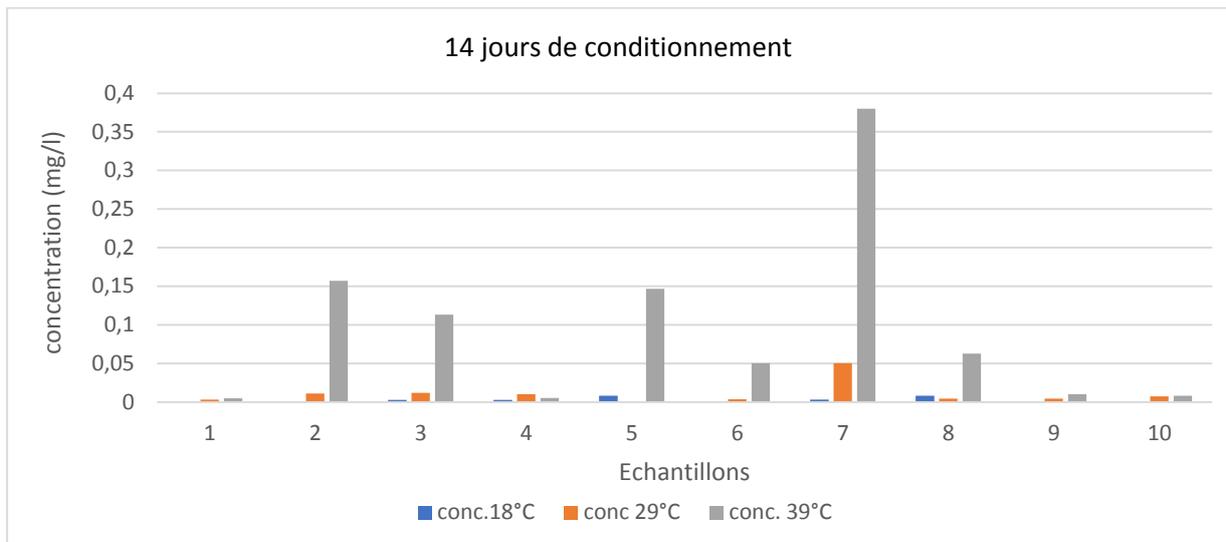
tels que Calafat et al.(2012), la concentration de BPA d'une eau dans un contenant plastique peut augmenter jusqu'à 55 fois par rapport à la basse température. Dans cette analyse d'une durée de 4 semaines de conditionnement, les concentrations en BPA vont de 0,032 mg/L minimum à 0,800 mg/L maximum (figure 16). En tenant compte de cette concentration maximale, des sujets de 10kg (poids moyen des enfants de 0 à 3 ans) et 63kg (poids moyen des adultes) buvant respectivement 0,75L et 1,5L d'eau en sachet par jour auraient accumulés respectivement des concentrations de 0,06 et 0,02 mg/kg de poids corporel/jour de BPA. Dans ces conditions d'exposition, l'adulte absorbe une faible dose par rapport à la dose journalière admissible (DJA) qui est de 0,05mg/kg de poids corporel et par jour. Il se verrait alors en sécurité si toutefois l'eau conditionnée est sa seule source de contamination au BPA. Le nourrisson de 10kg absorbe 0,06mg/kg/jour qui est supérieure à la DJA. Sans être la seule source de contamination au BPA, la consommation de l'eau conditionnée conduit le nourrisson à absorber plus que la DJT (0,05mg/kg de poids corporel et par jour). Cela montre que les enfants sont les plus exposés à l'absorption du BPA. ARS (2017) soutient cette thèse en affirmant que les personnes de bas âges en général et les fœtus et nouveau-nés en particulier sont des personnes vulnérables au BPA.

2.2.2- Effet du temps sur la migration du BPA

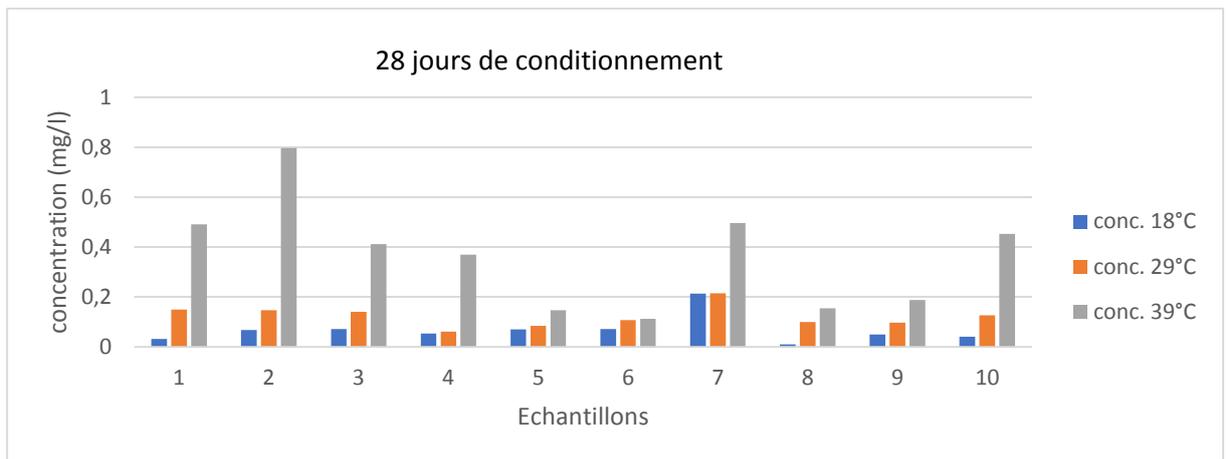
La figure16 montre également une évolution de la teneur du BPA en fonction du temps. Les concentrations à 4 semaines (figure 16b) sont supérieures à celles de 2 semaines (figure 16a). Le transfert du BPA dans les eaux étudiées est donc influencé par le temps de stockage. Ainsi les concentrations en BPA pour le même échantillon augmentent au fur et à mesure que la durée de stockage s'allonge. Cela témoigne que la dépolymérisation n'est pas brusque et qu'elle se réalise en fonction du temps. Ce résultat est conforme à ceux de Sajiki et Yonekubo (2002) qui, dans leur étude ont montré que la concentration du BPA croit jusqu'au 35^e jour. Yoshida et al. (2001) pour leur part ont rapporté au cours de leurs travaux sur les conserves alimentaires que la durée de stockage est un facteur important de migration de BPA dans les produits conditionnés ou conservés avec des contenants plastiques.

La comparaison des résultats aux deux temps de stockage montre des évolutions différentes de la teneur en BPA dans les échantillons d'eaux conditionnées étudiées. Le transfert du BPA du sachet aux eaux conditionnées n'est pas linéaire dans le temps. Cela pourrait être due à la dégradation simultanée du sachet par des facteurs physico-chimiques et microbiologiques qui contribue au relargage du BPA. Par contre, la languette du sachet semble n'avoir pas d'impact notable sur le transfert du BPA dans les eaux quel que soit la

température et/ou le temps de conditionnement. La figure 16 présente les résultats de recherche du BPA dans les eaux conditionnées à 14 et 28 jours de conditionnement.



a)



b)

Figure 16 : BPA dans les eaux conditionnées après 14 et 28 jours de conditionnement aux températures de 18, 29 et 39°C.

2.2.3- Effet de la biodégradation sur la migration du BPA

Les microorganismes participent à la dégradation des sachets et contribuent à la libération du BPA qui est utilisé comme monomère dans la fabrication de celui-ci. L'analyse des échantillons révèle la présence de microorganismes notamment les germes totaux à 22 et 37°C qui pourraient contribuer à l'hydrolyse progressive des polymères des sachets et par conséquent au relargage des monomères dans l'eau. La figure 17 présente les tendances de migration du BPA dans les échantillons. Les courbes montrant les teneurs en germes totaux

à 37°C dans les échantillons et celle présentant les concentrations de BPA ont pratiquement les mêmes allures. Parmi les germes totaux, il y a des germes susceptibles de dégrader le plastique et de libérer le BPA qui se déverse dans les eaux conditionnées. Le transfert du BPA dans les eaux est donc corrélé à la présence des agents responsables de la dégradation biologique du plastique.

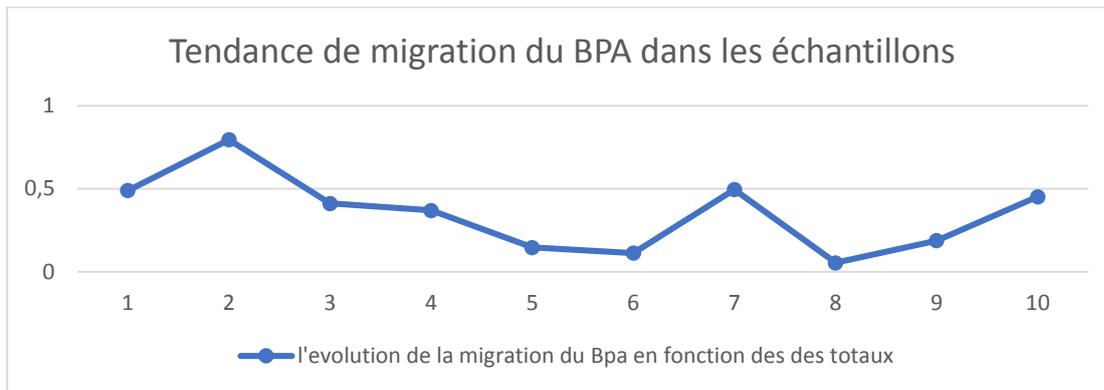


Figure 17 : Tendence de migration du BPA dans les échantillons

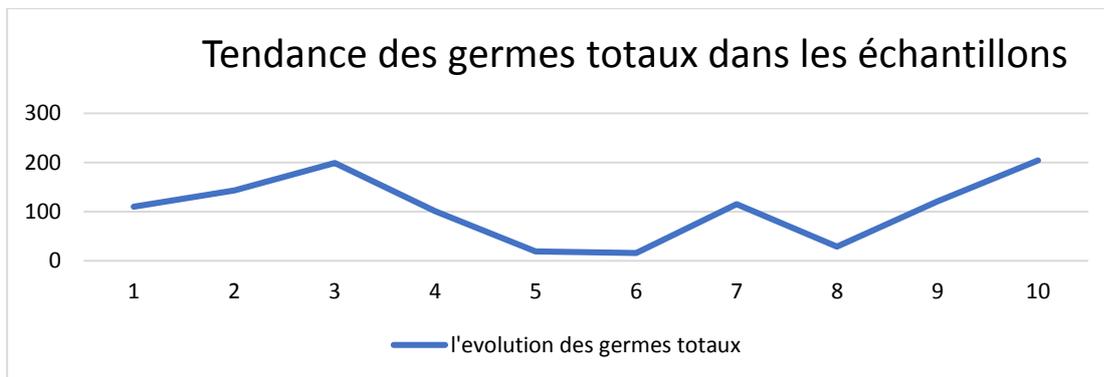


Figure 18 : Tendence des germes totaux dans les échantillons

2.2.4 La dégradation du BPA dans les eaux conditionnées

Le BPA n'est pas sans cesse croissante dans les eaux conditionnées. Il se dégrade sous certaines conditions et sa teneur diminue en fonction du temps. La figure 19 présente les résultats des analyses du BPA aux trois températures (18°C, 29°C et 39°C) après deux mois de conditionnement.

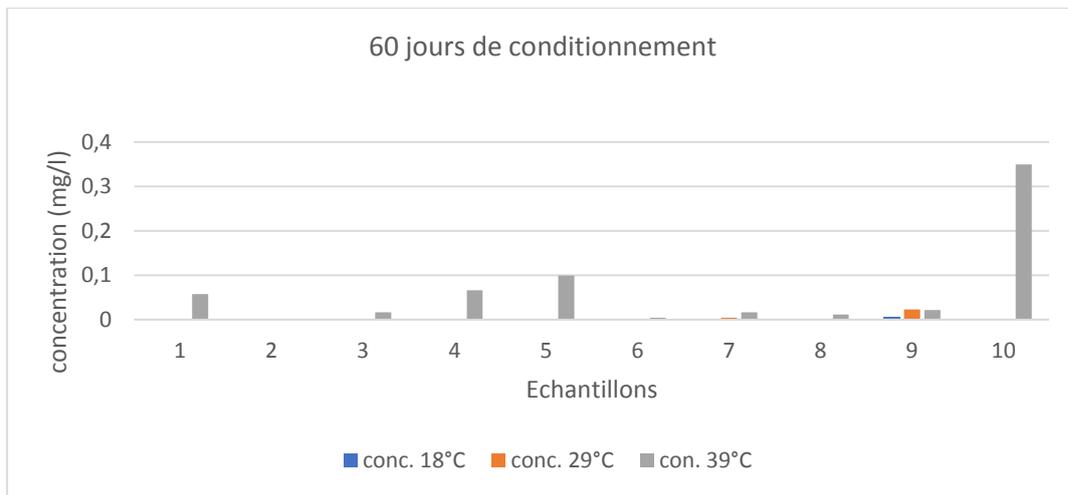


Figure 19 : BPA dans les eaux conditionnées après 60 jours de conditionnement

La figure 19 montre la régression des concentrations de BPA à 2 mois de conditionnement par rapport à celles de 1 mois. Entre 1 et 2 mois les concentrations décroissent en fonction du temps.

Cette situation peut s'expliquer par une dégradation ou fragmentation du BPA entre 1 à 2 mois. Ainsi le BPA en contact avec l'oxygène s'oxyde et se dégrade surtout en présence d'eau. L'oxygène dissout est un acteur majeur dans la dégradation du BPA parmi de multiples facteurs qui peuvent également agir dans ce sens dans les eaux conditionnées. Ceci est soutenu par Staples et al. (1998) qui affirment qu'en milieu aquatique la dégradation aérobie est le processus dominant dans la disparition du bisphénol A. En 30 jours la dégradation est totale dans les échantillons 2 et 6, quasiment totale dans les échantillons 1,3,4,7,8, et 9 et faible dans les échantillons 5 et 10. Cette durée de dégradation (30jours) est proche de celle de West, Goodwin, et Klecka (2001) qui, conformément à une méthode normalisée de l'OCDE, avaient trouvé qu'en condition aérobie le BPA se dégrade 28 jours. Cette durée est un peu plus courte par rapport à la nôtre car les échantillons bénéficiaient non seulement de l'oxygène dissous mais aussi de l'oxygène de l'air. D'autres auteurs tels que Kang et Kondo (2002) qui ont fait l'expérience en situation aérobie et anaérobie avec l'eau de rivière dopée au BPA, sont parvenu à la conclusion que le BPA se dégrade rapidement en présence d'oxygène et que l'oxydation et/ou l'effet des bactéries anaérobies auraient une faible capacité ou quasiment nulle dans la dégradation du BPA.

Cette thèse est soutenue par la plupart des auteurs qui attestent que le BPA se dégrade en présence d'oxygène. Son cycle de demie vie dans l'environnement est de 3 à 5 jours en présence d'oxygène (INERIS 2010). Cependant il montre une forte résistance en milieu

aquatiques anoxiques avec une demie vie supposée supérieure à une année (INERIS 2010). La microbiologie est également un paramètre responsable de l'élimination du BPA. L'analyse microbiologique a révélé la présence de germes totaux dans tous les échantillons étudiés. Ces germes ont une température de croissance de 37°C qui avoisine 39°C, la température la plus élevée dans cette étude. Les résultats de ces analyses sont consignés sur le tableau n°9.

Tableau 9 : Résultats des germes totaux des échantillons étudiés

Paramètres	ECHANTILLONS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Germes totaux à 37°C	110	143	199	101	19	16	225	196	121	204

Parmi ces germes totaux, il y a des germes capables de dégrader le BPA jusqu'à sa minéralisation totale ou partielle. C'est également l'avis d'une étude de la Commission Européenne qui, en décrivant les conditions de dégradation biologique du BPA, affirme que 60% serait minéralisé en CO₂, 20% constituerait le carbone des cellules bactériennes et 20% du carbone organique soluble resterait dans le media. La figure 20 ci-dessous décrit des voies possibles de dégradation du BPA selon la Commission Européenne.

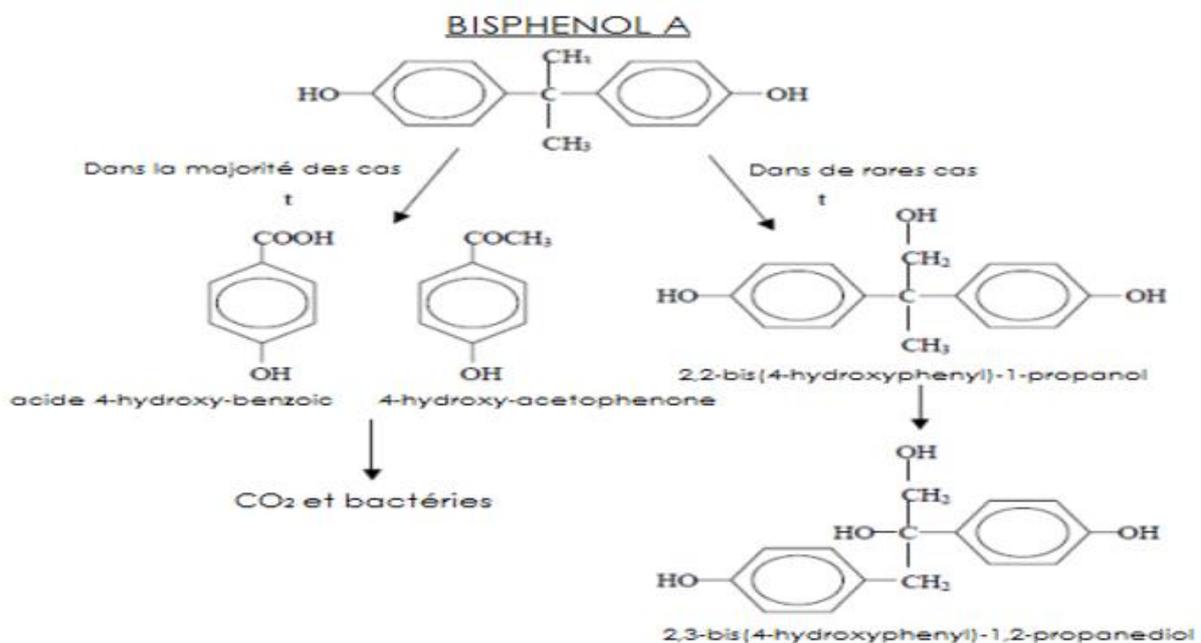


Figure 20 : Voies possibles de dégradation du BPA (Commission Européenne ; 2003)

Certains auteurs tels que Sakai et al. (2007) et Shang et al. (2007) ont également proposés

des formes de dégradation du BPA par des bactéries spécifiques qui sont décrites sur l'annexe 8. D'autres réactions physico-chimiques peuvent être à l'origine de la dégradation du BPA. C'est le cas par exemple de la réaction avec les chlorures. Le tableau n°9 présente l'évolution des concentrations des chlorures en fonction du temps et de la température.

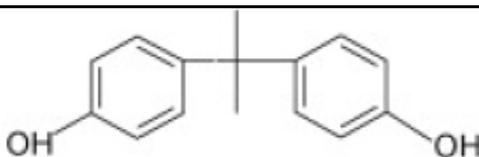
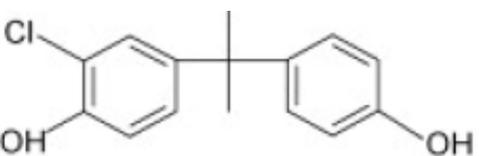
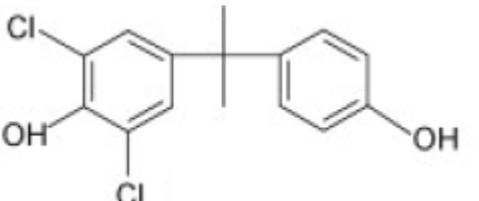
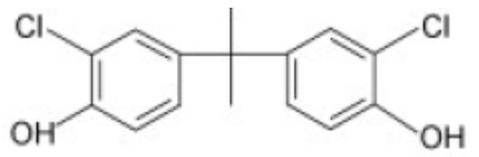
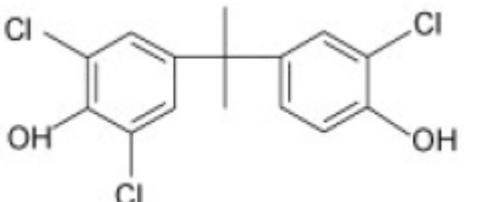
Tableau 10: Teneurs en chlorure des échantillons après 60 jours de conditionnement

Paramètres	Echantillons									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Chlorure à 18°C	1,1	0,8	0,8	0,9	0,8	1,0	0,9	0,8	0,9	0,8
Chlorure à 29°C	0,9	0,8	0,8	0,9	0,7	0,9	0,8	0,8	0,9	0,7
Chlorure à 39°C	0,5	0,6	0,5	0,7	0,6	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6

Une baisse des concentrations en BPA est suivie par celles des chlorures dans les eaux conditionnées. Il y a alors une possible réaction entre le BPA et le chlorures pour former de nouvelles substances chlorées qui ne présentent plus les mêmes caractéristiques physico-chimiques que le BPA initiale. Cette analyse est soutenue par l'étude de Chauveheid en 2016 qui montrait que les chlorures réagissent avec le BPA pour donner les monochloroBPA, dichloroBPA, trichloroBPA et tétrachloroBPA. Le tableau 11 présente les structures des substances provenant de la réaction entre le BPA et les chlorures.

Les résultats de la troisième analyse (60^e jour de conservation) sur la figure 19 montre une dégradation accrue du BPA dans pratiquement tous les échantillons sauf dans l'échantillon 10 à la température de 39°C. Cela semble être étroitement lié au pH car c'est le seul échantillon à 39°C qui un pH supérieur à 8. Toute chose qui fait penser que la dégradation du BPA ne serait pas très efficace à un pH élevé. Cet avis est partagé par E. Chauveheid qui affirme dans son étude de 2016 sur l'exposition au BPA et ses dérivés chlorés, que la dégradation de cette substance s'effectue aux alentours d'un pH de 7,7 et est nettement inefficace pour un pH supérieur à 8. Le tableau 12 présente les tendances des pH de nos échantillons en fonction de la température après deux mois de conservation.

Tableau 11: Schémas de monochloroBPA, dichloroBPA, trichloroBPA et tétrachloroBPA

Composés	Structures chimiques
BPA	
2-chloroBPA	
2,6-chloroBPA	
2,2'-dichloroBPA	
2,2',6-trichloroBPA	

Source : E. Chauveheid (2016)

Tableau 12: Les tendances des pH des échantillons après 60 jours

Paramètres	Echantillons									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
pH à 18°C	7,3	7,6	6,86	7,21	7,32	7,16	7,22	7,04	7,23	7,52
pH à 29°C	7,5	7,7	7,55	7,3	7,41	7,22	7,58	7,67	7,32	7,84
pH à 39°C	7,63	7,8	7,64	7,4	7,53	7,79	7,69	7,93	7,35	8,14

3- Eléments traces métalliques dans les eaux conditionnées en sachet

Les eaux conditionnées en sachet portent toutes des marques qui sont imprimées à l'encre. Les produits de l'encre peuvent donc migrer à l'intérieur du produit. Parmi ceux-ci figurent

des éléments trace métalliques dont la situation dans les eaux conditionnées en sachet sera exposée dans cette partie.

3.1- Transfert du cadmium dans les eaux conditionnées en sachet

Le cadmium est un micropolluant qui peut être transféré du sachet à l'eau dans les eaux conditionnées en sachet. Les concentrations de cadmium dans les échantillons d'eaux de forage qui sont les sources à partir desquelles les eaux conditionnées ont été produites sont consignés dans le tableau 13. Les résultats obtenus montrent une absence de cadmium dans tous les échantillons d'eau de forage utilisé pour la production d'eaux conditionnées en sachet objet de la présente étude. Par contre, exposé à la chaleur, des teneurs en cadmium atteignant 0,0097 mg/L ont été obtenu dans certaines eaux conditionnées en sachet.

Tableau 13 : Teneur en cadmium dans les échantillons d'eau de forage

	Echantillons d'eau de forage									
Code de l'échantillon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Concentration de cadmium (mg/L)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND : Non Détecté

Le tableau n°14 présente les teneurs en cadmium dans les eaux conditionnées à différentes températures et en fonction du temps. En fonction de la température et du temps, les concentrations vont de 0 à 0,0097 mg/L. Les résultats montrent une augmentation de la concentration de cadmium dans les eaux conditionnées avec la température et la durée de conservation. Ces concentrations s'accroissent au fur et à mesure que le temps passe et/ou la température s'élève. D'une part, après 6 semaines de stockage, du cadmium a été retrouvé dans l'ensemble des eaux conditionnées étudiées à la température de stockage de 39°C. D'autre part, les courbes de la figure 21 montrent que l'augmentation de la température accroît le transfert du cadmium vers l'eau de consommation. Les contenants plastiques (sachets) seraient donc à l'origine du relargage du cadmium dans les eaux conditionnées ; Ce d'autant plus que l'analyse de ces matériaux plastiques sur le tableau 6 montre la présence des ETM dans les sachets. Cette migration du cadmium du sachet vers l'eau conditionnée est influencée (retardée ou accélérée) par des facteurs internes (alliages) et des facteurs externes tels que la température et le temps de contact. Certains sachets présentant des marques à l'encre sur des languettes et non sur les sachets, on peut donc conclure que le cadmium ne se trouve pas uniquement sur l'encre mais également sur le sachet.

Tableau 14 : Teneur du cadmium dans les échantillons d'eau conditionnées

Températures	Echantillons										Moyenne	Période d'analyse	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Troisième semaine
29	0	0	0	0	0	0	0	0,0009	0	0	0,00009		
39	0,002	0,001	0,0025	0	0	0	0	0,0059	0	0	0,0011		
18	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00011	Sixième semaine	
29	0,001	0	0	0	0	0,001	0,0035	0,0051	0	0,0001	0,0011		
39	0,002	0,0025	0,0069	0,001	0,0097	0,002	0,0066	0,0062	0,00144	0,0072	0,00586		

La figure 21 présente les tendances moyennes du cadmium dans les échantillons d'eau conditionnées en fonction du temps et de la température.

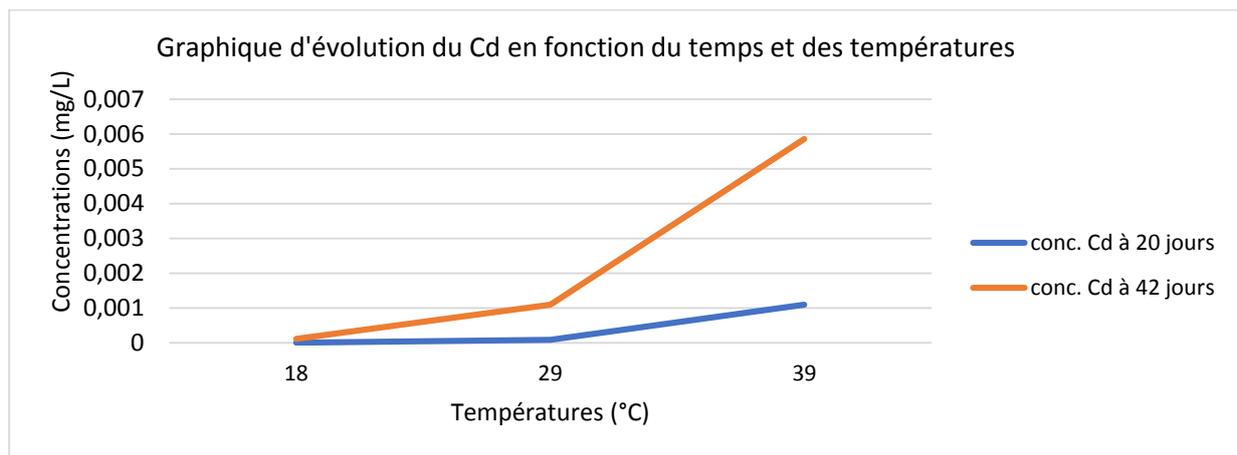


Figure 21 : Evolution des concentrations du Cd en fonction de la température

Les directives de l'OMS pour l'eau de boisson érigées en norme de potabilité au Burkina Faso indiquent une teneur limite de 3 µg/L de cadmium dans les eaux de consommation. A la première analyse, les concentrations varient de 0 à 5,9 µg/L. Seul l'échantillon 8 à 39°C, avec la concentration de 5,9 µg/L, est au-delà de la norme. A la deuxième analyse les concentrations varient de 0 à 9,7 µg/L. Les résultats des analyses des échantillons stockés pendant de la 6 semaines montrent qu'à 18°C et 29°C les concentrations varient de 0 à 5,1 µg/L. Seul l'échantillon 8 à 29°C a une concentration de 5,1 µg/L qui dépasse la norme. A 39°C les échantillons 1,2,4,6 et 9 ont des concentrations inférieures à 3 µg/L, respectent la norme tandis que les échantillons 3,5,7,8 et 10 ont des concentrations allant de 6,6 à 9,7 µg/L

qui sont deux ou trois fois supérieures à la valeur limite. Ainsi, en fonction de la température et du temps de stockage certaines eaux conditionnées peuvent devenir impropre à la consommation car ne respectant pas les normes de potabilité en vigueur au Burkina Faso pour l'eau de boisson.

3.2-Transfert du fer dans les eaux conditionnées en sachet

Le tableau 15 montre le résultat de la recherche du fer dans les eaux de forage servant de source pour la production d'eau conditionnée. On constate la présence du fer dans tous les échantillons à des concentrations variant entre 0,1 à 0,45 mg/L. Les valeurs des concentrations en fer des échantillons 1,2,3,4,5,7 et 10 sont conformes aux directives OMS érigée en normes au Burkina Faso. La valeur limite de cette norme est de 0.3mg/L de fer dans une eau de boisson. Alors que les échantillons 6 et 9 qui ont des concentrations respectives de 0,45 et 0,4 mg/L dépassent la valeur limite de la norme. Cette quantité excessive en fer serait due à une dissolution des roches suivi d'un lessivage de terrain ou encore des fissuration de la roche mère selon Ouandaogo/Yaméogo (2012).

Tableau 15 : Teneur du fer dans les échantillons d'eau de forage

	Echantillons d'eau de forage									
Code de l'échantillon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Concentration de fer (mg/L)	0,25	0,20	0,15	0,30	0,10	0,45	0,25	0,25	0,40	0,10

L'impact des conditions environnementales comme la température et le temps de stockage sur le transfert du fer du contenant vers les eaux consommées a été étudié. Le fer présent dans les eaux de forage, se retrouve complètement absent dans les échantillons 1,2,3,4,5 et 6 et en faible quantité dans les échantillons 7,8,9 et 10 à la première analyse et à 18°C. Cela s'explique par le mode de traitement adopté par les unités de production des eaux conditionnées. En effet ces unités utilisent quelque fois des dispositifs de prétraitement pouvant retenir quelques minéraux comme le fer. Lorsqu'on élève la température et/ou que le temps passe, le fer se retrouve dans pratiquement tous les échantillons avec des concentrations de plus en plus croissantes. Le fer tout comme le cadmium, est présent dans les sachets (comme l'indique le tableau 6), migre vers les eaux conditionnées en fonction de la température et du temps. C'est ce qui fait que les concentrations en fer sont sans cesse

croissantes dans les échantillons d'eau conditionnée. Cependant pour certains auteurs comme Han et al. (2015), le fer réagit avec le bisphénol A en solution et sa concentration doit par conséquent chuter dans les eaux. D'une part cela peut être dû au fait que la quantité de fer relarguer soit supérieure à la quantité de fer qui réagit avec le bisphénol A. Ce qui donne toujours une tendance croissante qui ne laisse pas apercevoir cette réaction. D'autre part l'absence ou la très faible réaction avec le bisphénol A s'explique par le fait qu'il ait de nombreuses substances (oxygène, le chlorure, ...) et de nombreuses bactéries qui réagissent déjà avec le BPA. Cela donne très peu ou pas de possibilité au fer de réagir encore avec le BPA.

Tableau 16 : Teneur en fer dans les échantillons d'eau conditionnées

Tempé- ratures	Echantillons											Période d'analyse
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Moyen	
18	0	0	0	0	0	0	0,0154	0,0174	0,0007	0,0089	0,00424	Troisième semaine
29	0,03	0,0357	0,0379	0,003	0,0426	0,009	0,0685	0,064	0,0305	0,0538	0,03745	
39	0,052	0,0395	0,0543	0,003	0,0822	0,095	0,069	0,081	0,0673	0,0544	0,05973	
18	0,01	0,0124	0	0,008	0,0359	0,032	0,059	0,0397	0,0438	0,0343	0,02745	Sixième semaine
29	0,032	0,0548	0,0699	0,016	0,0459	0,051	0,08	0,0674	0,0829	0,0863	0,05857	
39	0,076	0,0541	0,0808	0,1	0,1324	0,098	0,0857	0,0839	0,0881	0,1016	0,09004	

La figure 22 présente les tendances moyennes de l'évolution du fer en fonction du temps et de la température. Outre la température et le temps qui sont des facteurs externes du plastique, il y a également des facteurs internes de celui-ci et qui peuvent influencer sur la migration du fer. Ces facteurs internes du contenant sont essentiellement la teneur des substances dans le plastique et éventuellement des alliages entre les substances. En effet dans la quête de la qualité et de la biodégradabilité, de nombreux ETM sont utilisés dans la fabrication du plastique. Ces ETM peuvent inter agir entre eux et former des alliages. Le tableau 6 présente la teneur des échantillons en fer et le tableau 16 présente le résultat des premières migrations du fer vers les échantillons. Au regard de ces tableaux, la cinétique de migration des ETM n'est pas seulement fonction de la teneur mais aussi des alliages entre le fer et d'autres ETM. C'est ce qui amène Liao et Kannan en (2013, 2014) à affirmer que le degré de migration des substances vers les contenus ne dépend pas uniquement des concentrations et des caractéristiques chimiques des composés mais aussi de la composition chimique de la matière plastique. Autrement dit la présence de certains composés chimiques

sont susceptibles de créer des alliances et empêche la migration d'autres composés.

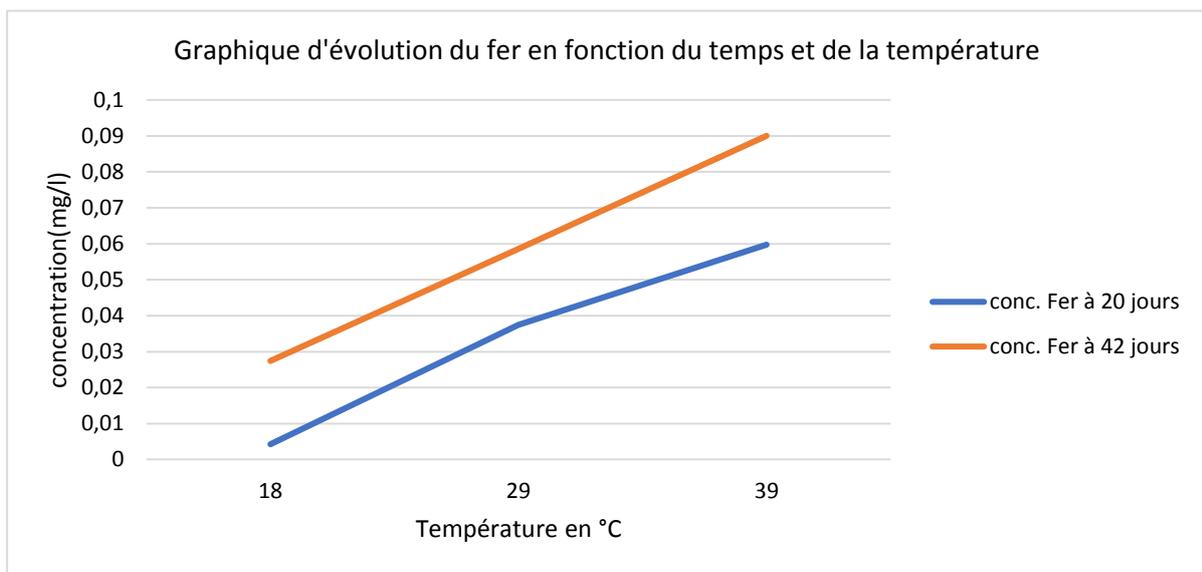


Figure 22 : Evolution des concentrations du fer en fonction de la température

CONCLUSION

Cette étude menée à Ouagadougou a permis d'évaluer l'influence de la matière plastique sur la qualité des eaux conditionnées. L'état des lieux a fait ressortir des différences de conditions de production en fonction de l'envergure de la structure de production des eaux conditionnées. De mauvaises conditions de stockage ont été mises en évidence au niveau des lieux de commercialisation des eaux conditionnées en sachet.

L'ensemble des sources d'eaux analysées sont exemptes de BPA et contiennent pour certaines des ETM mais sans dépasser les valeurs limites des normes de potabilité en vigueur au Burkina Faso pour les eaux de consommation.

Les sachets sont conçus à base du BPA pour assurer leur résistance et leur transparence et à base des ETM pour accélérer leur biodégradabilité. Ces substances sous certaines conditions physico-chimiques et biologiques peuvent migrer vers les contenus (eaux conditionnées). Durant les trente premiers jours il a été noté une migration massive de BPA vers les eaux due à la biodégradation du plastique qui pourrait dans ce cas être considéré comme source de contamination de substances. Après trente jours le BPA se dégrade progressivement et commence à disparaître dans certains échantillons à partir de soixante jours. Les eaux conditionnées contiennent moins de BPA quand elles sont conservées à de basses températures, au début de la production (avant deux semaines) et tard après la production (après deux mois). Le BPA est toxique en fonction de la quantité absorbée et du poids des consommateurs. Il serait plus toxique chez les sujets de faibles poids corporel comme les enfants.

La migration des éléments chimiques ne se fait pas en fonction de la nature physique des sachets mais plutôt en fonction de leur nature chimique et des conditions de stockage. Les ETM (fer et cadmium) sont également utilisés dans la fabrication des sachets et migrent sans cesse vers les eaux conditionnées due à la biodégradation et la physico-chimique. La situation géographique et la présence ou non de languette sur le sachet n'ont pas influencé les résultats obtenus.

Pour une bonne protection des consommateurs les eaux conditionnées en sachet doivent donc être stockées dans des endroits frais à l'abri du soleil et doivent être consommées avant les deux semaines qui suivent la date de production.

RECOMMANDATIONS

Il s'avère à travers cette étude que les sachets d'eau contiennent des substances toxiques notamment le BPA et des ETM qui sont relargués dans les eaux conditionnées. Cependant les recommandations suivantes peuvent être faites pour se protéger contre ces substances toxiques :

- Introduire des dispositions précisant les équipements minimums dont doit se doter une unité de production d'eau conditionnée en sachet dans le cahier de charges
- Fixer des types de sachet plastique à utiliser pour la production d'eau conditionnée en sachet
- Introduire la recherche du BPA et ETM dans les critères de conformité et d'autorisation de production d'eau au Burkina Faso
- Encourager la consommation des eaux conditionnées en bouteille ;
- Sensibiliser les distributeurs sur les conditions de stockage des produits.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABDELADIM, Assia, et Samira BENBATOUCHE. 2013. « Elaboration et contribution à l'étude de sacs tissés oxo-biodégradables à base de PP et PE ».
- ADAMO, Carlo, Jean-Philippe ANTIGNAC, Jacques AUGER, Patrick BALAGUER, Deborah BOURC'HIS, Louis BUJAN, Cécile CHEVRIER, et al. 2010. « Bisphénol A Effets sur la reproduction ». Inserm. https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/rapport_preliminaire_sur_les_perturbateurs_endocriniens_relatif_aux_effets_du_bisphenol_A_sur_la_reproduction.pdf.
- AFSSA. 2008. « AVIS de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments relatif au Bisphénol A dans les biberons en polycarbonate susceptibles d'être chauffés au four à micro-ondes ». https://www.cancer-environnement.fr/Portals/0/Documents%20PDF/Rapport/Anses/AFFSA/2008_avis%2010%20BPA%20biberons.pdf.
- AHOUSI, Ernest Kouassi, Nagnin SORO, Amani Michel KOUASSI, Gbombélé SORO, Yao Blaise KOFFI, et Sompohi Pacôme ZADE. 2010. « Application des méthodes d'analyses statistiques multivariées à l'étude de l'origine des métaux lourds (Cu²⁺, Mn²⁺, Zn²⁺ et Pb²⁺) dans les eaux des nappes phréatiques de la ville d'Abidjan ». <http://ajol.info/index.php/ijbcs>.
- AL-DJIBERT, Moukhtar. 2016. « EVALUATION DE LA QUALITE DES EAUX DE FORAGES REHABILITES EN VUE DE LEUR BRANCHEMENT SUR LE RESEAU DE DISTRIBUTION DE L'EAU POTABLE DE L'ONEA : CAS DE LA VILLE DE OUAGADOUGOU (BURKINA FASO). » 2iE. file:///C:/Users/USER/Downloads/AL-DJIBERT_Moukhtar.pdf.
- ANSES. 2011. « Effets sanitaires du bisphénol A ». ANSES. <http://istas.net/descargas/CHIM-Ra-BisphenolA.pdf>.
- . 2013. « Évaluation des risques du bisphénol A (BPA) pour la santé humaine. Tome 1. Avis et rapport d'expertise collective. » Maisons-Alfort. <https://www.anses.fr/fr/system/files/CHIM2009sa0331Ra-0.pdf>.
- . 2018. « Usages et effets sanitaires du bisphénol A (BPA) ». ANSES, 4 octobre 2018. <https://www.anses.fr/fr/content/bisph%C3%A9nol>.
- ARS. 2017. « POLLUTION INTÉRIEURE : RISQUES SANITAIRES POUR LA FEMME ENCEINTE ET LE JEUNE ENFANT ». <https://www.nouvelle->

aquitaine.ars.sante.fr/sites/default/files/2017-02/Doc_Rapport_Cassiopee_10_02_2017.pdf.

- BANAS, Damien, et Jean-Christophe LATA. 2009. « Les nitrates ».
- Bechambi, Olfa, Lobna Jlaiel, Wahiba Najjar, et Sami Sayadi. 2016. « Photocatalytic degradation of bisphenol A in the presence of Ce–ZnO: Evolution of kinetics, toxicity and photodegradation mechanism ». *Materials Chemistry and Physics* 173 (avril): 95-105. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2016.01.044>.
- Brede, C., P. Fjeldal, I. Skjevraak, et H. Herikstad. 2003. « Increased migration levels of bisphenol A from polycarbonate baby bottles after dishwashing, boiling and brushing ». *Food Additives & Contaminants* 20 (7): 684-89. <https://doi.org/10.1080/0265203031000119061>.
- Briand, Cyrielle, Adèle Bressy, Chebbo Ghassan, José-Frédéric Deroubaix, et Steven Deshayes. 2018. « Que sait-on des micropolluants dans les eaux urbaines? »
- Cadi, Mina, Yassir Bouslimane, Rachid Eljaoudi, Abdelaziz Bouklouze, et Yahia Cherrah. 2012a. « Bisphénol A à nouveau risque, nouveau défi ». *Medecine Therapeutique Medecine de la Reproduction* 14 (avril): 151-55. <https://doi.org/10.1684/mte.2012.0393>.
- . 2012b. « Bisphénol A à nouveau risque, nouveau défi ». *Medecine Therapeutique Medecine de la Reproduction* 14 (avril): 151-55. <https://doi.org/10.1684/mte.2012.0393>.
- Calafat, Antonia M, Zsuzsanna Kuklennyik, John A Reidy, Samuel P Caudill, John Ekong, et Larry L Needham. 2005. « Urinary Concentrations of Bisphenol A and 4-Nonylphenol in a Human Reference Population ». *Environmental Health Perspectives* 113 (4): 391-95. <https://doi.org/10.1289/ehp.7534>.
- Calafat, Antonia M, Jennifer Weuve, Xiaoyun Ye, Lily T Jia, Howard Hu, Steven Ringer, Ken Huttner, et Russ Hauser. 2008. « Exposure to bisphenol A and other phenols in neonatal intensive care unit premature infants ». *Environmental health perspectives* 117 (4): 639-44.
- Chauveheid, Eric. 2016. *L'exposition au Bisphénol-A et à certains dérivés chlorés par l'eau potable chlorée*.
- Cormier, Guillaume, et Amina Toudjine. 2011. « Contaminant dans l'eau: Bisphénol A ». Présenté à Chimie Analytique Environnemental CHM 3103.
- Danzl, Erica, Kazunari Sei, Satoshi Soda, Michihiko Ike, et Masanori Fujita. 2009. « Biodegradation of Bisphenol A, Bisphenol F and Bisphenol S in Seawater ».

International Journal of Environmental Research and Public Health 6 (4):
1472-84. <https://doi.org/10.3390/ijerph6041472>.

- DECEUNINCK, Yoann, Zita ZENDONG, Emmanuelle BICHON, Jean-Philippe ANTIGNAC, et Bruno LE BIZEC. 2013. « UTILISATION DE LA SPECTROMETRIE DE MASSE POUR LE DOSAGE DU BISPHENOL A DANS LES MATRICES ALIMENTAIRES ». *LABoratoire d'Étude des Résidus et Contaminants dans les Aliments*.
- Denis, Eric. 2009. « La croissance urbaine en Afrique de l'Ouest De l'exploitation à la prolifération. »
- Environnement-Santé, Canada. 2008. « Évaluation préalable finale pour le Défi concernant le Phénol, 4,4' -(1-méthyléthylidène)bis (Bisphénol-A) ». http://docplayer.fr/40094471-Evaluation-prealable-finale-pour-le-defi-concernant-le-phenol-4-4-1-methylethylidene-bis-bisphenol-a.html#tab_1_1_2.
- European Food Safety Authority (EFSA). 2008. « Toxicokinetics of Bisphenol A - Scientific Opinion of the Panel on Food additives, Flavourings, Processing aids and Materials in Contact with Food (AFC) ». *EFSA Journal* 6 (7): 759. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2008.759>.
- FONKEU, Hypolite Myriam. 2000. « Problematique de la ventse de l'eau dans les sachets plastiques à Ouagadougou: qualité de l'eau et l'impact sur l'environnement ».
- Hadda, Khayra., Larbi Bellahmer, et Nacreddine Ikhlef. 2018. « La biodégradation de plastique par les bactéries ».
- Han, Qi, Hongjie Wang, Wenyi Dong, Tongzhou Liu, Yulei Yin, et Hongkai Fan. 2015. « Degradation of bisphenol A by ferrate(VI) oxidation: Kinetics, products and toxicity assessment ». *Chemical Engineering Journal* 262 (février): 34-40. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.09.071>.
- INERIS. 2010. « Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : Bisphénol A, INERIS –DRC-10-102861-01251B ».
- INRS. 2018. « Base de données FICHES TOXICOLOGIQUES: Bisphénol A ». INRS. [file:///C:/Users/USER/Downloads/FicheTox_279%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USER/Downloads/FicheTox_279%20(1).pdf).
- Kang, Kang, J.H., et F. Kondo. 2002. « Bisphenol A degradation by bacteria isolated from river water ».
- LEC. 2016. « ME ET TH HO OD DE E L LE EC C P PO OU UR R L L' 'A AN NA AL LY YS SE E D DU U B BI IS SP PH HE EN NO OL L A A D DA AN NS S L LE ES S B BO OI IS SS SO ON NS S ». <http://www.lec-cognac.com>.

- LEZAM, Salim, et Naima ZERKA. 2015. « Biodégradation dans le sol de sacs oxobiodégradable à différents taux de stabilisant ». <http://www.univ-bejaia.dz/dspace/bitstream/handle/123456789/8997/Biod%C3%A9gradation%20dans%20le%20sol%20de%20sacs%20oxobiod%C3%A9gradable%20oxobiod%C3%A9gradable%20%C3%A0%20diff%C3%A9rents%20taux%20de%20stabilisant..pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Liao, Chunyang, et Kurunthachalam Kannan. 2014. « A survey of bisphenol A and other bisphenol analogues in foodstuffs from nine cities in China ». *Food Additives & Contaminants: Part A* 31 (2): 319-29. <https://doi.org/10.1080/19440049.2013.868611>.
- Little, Alexander G., et Frank Seebacher. 2015. « Temperature determines toxicity: Bisphenol A reduces thermal tolerance in fish ». *Environmental Pollution* 197 (février): 84-89. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.12.003>.
- M. Stefanidou, et C. Maravelias and C. Spiliopoulou. 2009. « Human Exposure to Endocrine Disruptors and Breast Milk ». (*Formerly Current Drug Targets - Immune, Endocrine & Metabolic Disorders*) 9 (3): 269-76. <https://doi.org/10.2174/187153009789044374>.
- MINISTERE DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT (MEA). 2016. « Programme National d'Approvisionnement en Eau Potable (2016-2030) ». Burkina Faso.
- Monneret, C. 2010. « Faut-il interdire le bisphénol A ? » *Annales Pharmaceutiques Françaises* 68 (2): 99-103. <https://doi.org/10.1016/j.pharma.2009.11.002>.
- Nalbone, G., A. Cicolella, et S. Laot-Cabon. 2010. « L'exposition humaine au bisphénol A: un facteur de risque environnemental des maladies métaboliques et cardiovasculaires », 29 novembre 2010.
- OFSP. 2019. « Bisphénol A ». Confédération suisse.
- OMS, et FAO. 2009. « BISPHEENOL A (BPA) – État actuel des connaissances et actions de l'OMS et de la FAO à l'avenir ». Réseau international des autorités de sécurité sanitaire des aliments (INFOSAN). file:///C:/Users/USER/Downloads/OMS_5_2009_BPA.pdf.
- Rudel, Ruthann A., Steven J. Melly, Paul W. Geno, Gang Sun, et Julia G. Brody. 1998. « Identification of Alkylphenols and Other Estrogenic Phenolic Compounds in Wastewater, Septage, and Groundwater on Cape Cod, Massachusetts ». *Environmental Science & Technology* 32 (7): 861-69. <https://doi.org/10.1021/es970723r>.

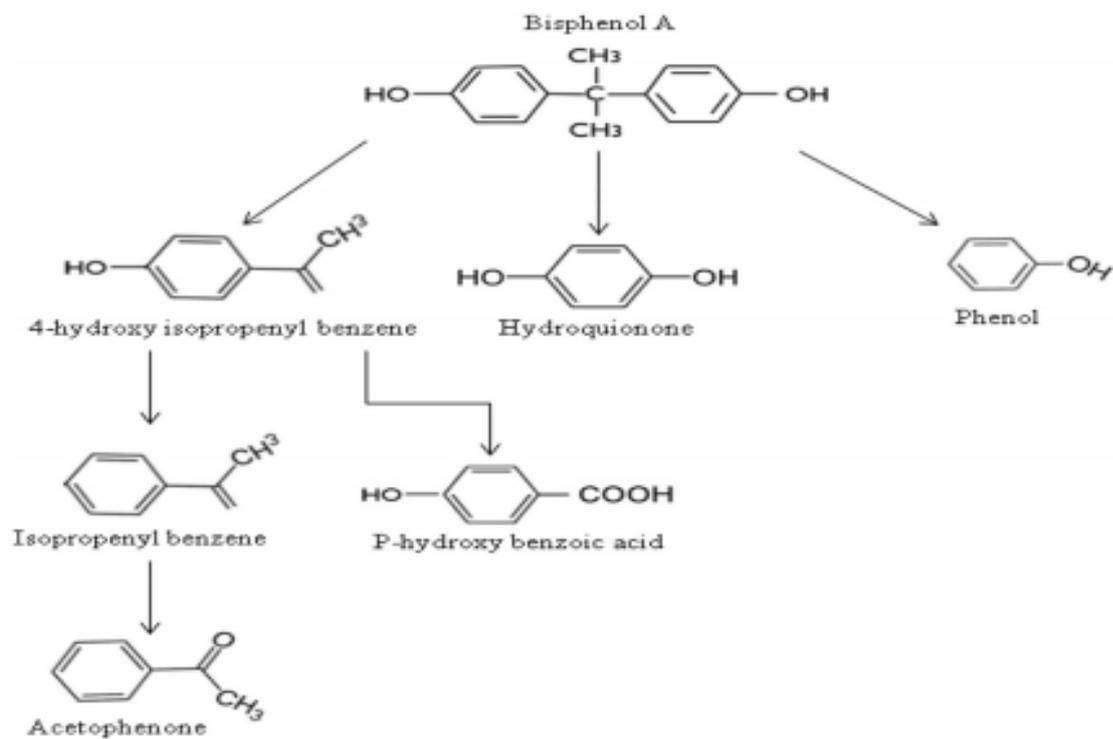
- Sajiki, Junko, et Jun Yonekubo. 2002. « Degradation of bisphenol-A (BPA) in the presence of reactive oxygen species and its acceleration by lipids and sodium chloride ». *Chemosphere* 46 (2): 345-54. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(01\)00093-5](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(01)00093-5).
- Schlienger, J.-L. 2014. « Impact métabolique de l'exposition au bisphénol A : état des lieux ». *Médecine des Maladies Métaboliques* 8 (3): 340-45. [https://doi.org/10.1016/S1957-2557\(14\)70819-3](https://doi.org/10.1016/S1957-2557(14)70819-3).
- Severin, Isabelle, Anne-Marie Riquet, et Marie-Christine Chagnona. 2010. « Évaluation et gestion des risques—Matériaux d'emballage à contact alimentaire ». *Cahiers de nutrition et de diététique (2011)* 46, 59—66, décembre 2010, ELSEVIER MESSON FRANCE édition.
- Staples, C A, P B Dorn, G M Klecka, S T O'Block, et L R Harris. 1998. « A Review of the Environmental Fate, Effects, and Exposures of Bisphenol A ». *Chemosphere* 36 (10): 2149-73. [https://doi.org/10.1016/s0045-6535\(97\)10133-3](https://doi.org/10.1016/s0045-6535(97)10133-3).
- Suzanne OUANDAOGO/YAMEOGO. 2012. « RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE DU CENTRE URBAIN DE OUAGADOUGOU AU BURKINA FASO QUALITE ET VULNERABILITE ».
- Vandenberg, Laura N., Russ Hauser, Michele Marcus, Nicolas Olea, et Wade V. Welshons. 2007. « Human exposure to bisphenol A (BPA) ». *Reproductive Toxicology* 24 (2): 139-77. <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2007.07.010>.
- West, R. J., P. A. Goodwin, et G. M. Klecka. 2001. « Assessment of the Ready Biodegradability of Bisphenol A ». *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 67 (1): 106-12. <https://doi.org/10.1007/s001280097>.
- YERBANGA, Zoewendmalgré Joceline. 2015. « Contribution à la mise au point et à la validation d'une méthode de détection du bisphénol A dans l'eau de boisson ».
- Yoshida, Terumitsu, Masakazu Horie, Youji Hoshino, Hiroyuki Nakazawa, Masakazu Horie, et Hiroyuki Nakazawa. 2001. « Determination of bisphenol A in canned vegetables and fruit by high performance liquid chromatography ». *Food Additives & Contaminants* 18 (1): 69-75. <https://doi.org/10.1080/026520301446412>.

ANNEXES

ANNEXE 1 : Liste des pays et leurs réglementations respectives sur le BPA

Pays	Application	Limite	Introduction
Union Européenne	Plastique en contact avec les denrées alimentaires	Limite de migration fixée à 0.05 mg/kg	2018
	Biberons en polycarbonate*	Interdit	2011
	Jouets	Limite de migration fixée à 0.1 mg/l	2015
	Papiers thermiques	Interdit (limite fixée à 0.02% du poids)	2020
Autriche	Tétines et jouets de dentition	Interdit	2012
Belgique	Contenants alimentaires dédiés aux enfants de moins de 3 ans	Interdit	2013
Danemark	Contenants alimentaires dédiés aux enfants de moins de 3 ans	Interdit	2010
France	Tous les contenants alimentaires	Interdit	2015
Suède	Contenants alimentaires dédiés aux enfants de moins de 3 ans	Interdit	2013
Suisse	Plastique en contact avec la Nourriture	Limite de migration fixée à 0.6 mg/kg	2006
	Jouets	Limite de migration fixée à 0.1 mg/l	2015
	Biberons en polycarbonate*	Interdit	2017
	Papiers thermiques	BPA et BPS interdits (limite fixée à 0.02% du poids)	Juin 2020
Afrique du Sud	Biberons en polycarbonate	Interdit	2011
Australie	Pas d'interdiction réglementaire		
Chine	Biberons en polycarbonate	Interdit	2011
Canada	Biberons en polycarbonate	Interdit	2010
Japon	Pas d'interdiction, mais mesures volontaires des fabricants		
Malaisie	Biberons en polycarbonate	Interdit	2012
	Biberons en polycarbonate	Interdit	2012
USA	Biberons en polycarbonate	Interdit ou non selon les Etats	2010-2013
	Contenants alimentaires dédiés aux enfants de moins de 3 ans		

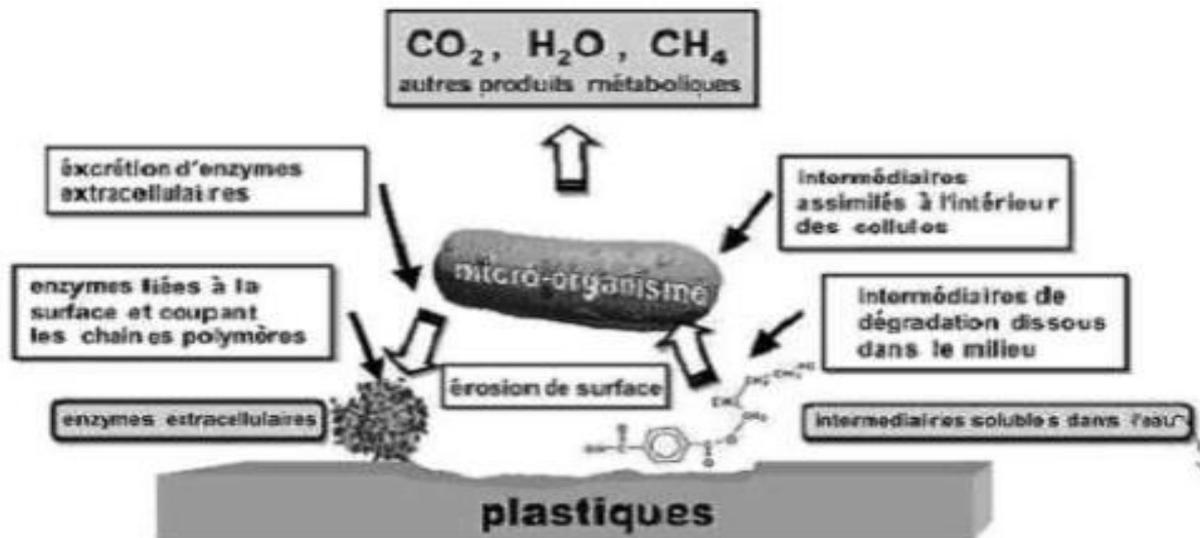
ANNEXE 2 : Le processus de la dégradation du BPA par *Pseudomonas aeruginosa* (PAb1)



Source : V. Vijayalakshmi et al (2018)

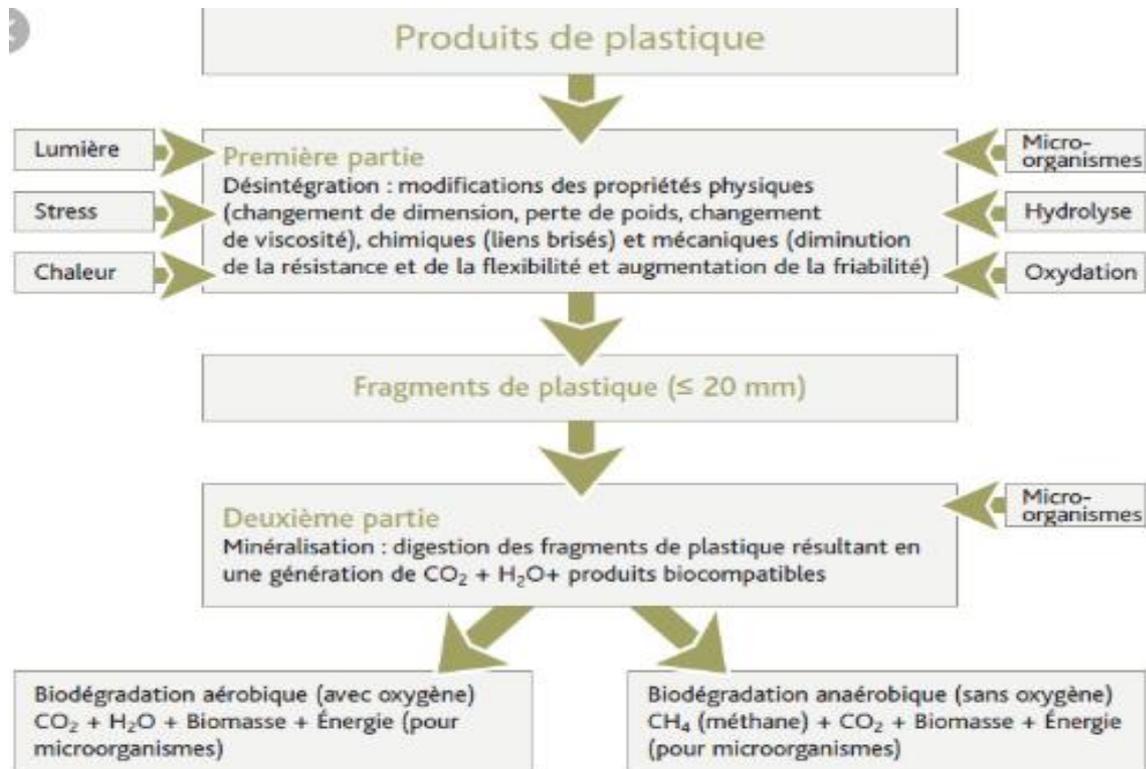
Figure de dégradation du BPA par *Pseudomonas aeruginosa* (PAb1)

ANNEXE 3 : Le processus de la dégradation du plastique par les microorganismes.



La biodégradabilité des matières plastiques

ANNEXE 4 : dégradation conjuguée à la biodégradation pour une minéralisation du plastique



La dégradation conjuguée à la biodégradation pour une minéralisation du plastique

ANNEXE 5 : Mode opératoire pour l'analyse de la solution dopée

Pour analyser la solution dopée les étapes suivantes ont été suivies :

❖ L'élution

Au 10ml de la solution préparée on ajoute 10ml du dichlorométhane pour avoir 20 ml d'une solution éluée à 10mg/l pour l'extraction du BPA.

L'EXTRACTION

Elle consiste à extraire les solutés (molécules de BPA) qui migrent de la solution vers le dichlorométhane. En effet dans ce mélange le BPA passe dans le dichlorométhane suivant le principe de coefficient de partition et plus spécifiquement coefficient de partition octanol-eau (K_{ow}).

En outre dans le souci de l'amélioration du rendement de l'extraction, un kit d'extraction a été introduit. Ce kit est composé des réactifs suivants :

- Sulfate de magnésium anhydre à $4g \pm 0,2$
- Chlorure de sodium à $1g \pm 0.05$
- Citrate trisodique dihydraté à $1g \pm 0.05$
- Citrate de sodium dibasique sesquihydraté à 0.5 ± 0.03

❖ Homogénéisation

Elle consiste à agiter l'échantillon à l'aide d'un agitateur vortex pendant au moins une minute afin d'homogénéiser la substance.

❖ Centrifugation

Une fois homogénéisés les échantillons passent dans une centrifugeuse à 3000 tours/min pendant 5 minutes. La centrifugeuse utilisée est une centrifugeuse de palliase réfrigérée de capacité maximale de 5400 tours/min.

PURIFICATION

Après la centrifugation il y a une nette séparation de phase avec le dichlorométhane (qui contient les molécules de BPA) dans la phase supérieure. Un kit de purification est dissout dans 6 ml de ce dichlorométhane surnageant : c'est la purification qui consiste au séchage de l'eau infiltrée éventuellement, à l'élimination des impuretés et à une amélioration de la séparation de phase. Ce kit de purification est composé des réactifs suivants :

- PSA à 0,15g
- Sulfate de magnésium à 0,9g.

❖ **Homogénéisation**

L'échantillon purifié est à nouveau homogénéisé en l'agitant avec l'agitateur vortex pendant une minute.

❖ **Centrifugation**

Une fois homogénéisé les échantillons passent à nouveau dans la centrifugeuse à 3000 tours/min pendant 5 minutes.

❖ **Concentration**

Lors de cette étape on prélève 5ml du dichlorométhane de la solution nouvellement centrifugée pour concentrer. Elle est réalisée à l'aide d'un évaporateur rotatif (de type rota vapeur réglé à 40°C). Son principe est d'élever la température de l'échantillon et d'aspire le dichlorométhane afin d'avoir un faible volume contenant les particules dont les particules recherchées (BPA).

❖ **L'injection**

Le concentrat de 150µL est introduit dans un insert placé dans un vial de 2ml. Les vials sont placés sur la GC/MS pour être injecter et analyser.

ANNEXE 6 : Le protocole d'analyse et l'image du testeur XRF

Le testeur fonctionne par scannage des plastiques pour déterminer la présence de certaines substances chimiques et leurs concentrations afin de conclure sur leur oxo biodégradabilité.

Pour l'utiliser on procède comme suit :

- i) Brancher le testeur à un secteur et le mettre en marche ;
- ii) Placer l'appareil contre la matière plastique à tester ;
- iii) Appuyer ensuite sur la gâchette.

Une fois appuyer sur la gâchette l'écran indique l'une des trois résultats :

- PASS (Green) = test positif si le produit est oxobiodégradable
- FAIL (Red) = test négatif si le produit n'est pas oxobiodégradable
- Indetermined = test mitigé. Dans ce cas l'appareil n'a pas de précision à faire.

Cela peut être dû au fait que d'autres substances non reconnues par l'appareil sont abondantes dans le plastique ou des alliages très forts entre les éléments qui puisse éventuellement joués sur l'oxo biodégradabilité. Dans ce cas de figure il faudrait une autre étude de confirmation.



Image du Testeur XRF ou d₂Detector

ANNEXE 7 : Fiche d'enquête adressée aux producteurs des eaux conditionnées

I. Identification

Fiche N°..... Date : /...../ 2019
Arrondissement N° : Secteur N° : Quartier :
Nom de l'enquêté :
Nom de la société :
Marque d'eau produite :
Adresse :

II. Généralité

- 1- Quel est la date ou année d'ouverture de la société ?/...../...../
- 2- Avez-vous l'autorisation des autorités ?
Oui Non
- 3- Quelle source utilisez-vous ?
Forage Réseau Autres
- 4- Quels sont les différents types de conditionnement utilisé ?
Sachet de 25f Sachet de 50f Bidon de 0,5L Bidon de 1,5L
Bonbonne Autres A préciser

III. Quantités et zones de distribution

- 1- Quelle est la quantité produite par jour ou par semaine ?
.....
....
- 2- Quelles sont vos zones de distribution dans la ville de Ouagadougou ?
.....
.....
.....
- 3- Autre que Ouagadougou, dans quelles sont vos zones de distribution au Burkina Faso?
.....
.....

.....

4- Quels sont vos moyens de transport pour la distribution ?

a-Tricycles b- camions c-Autres A préciser

5- Ces moyens de transport protègent-ils le produit contre le soleil

Oui Non

IV. Hygiène et assainissement

1- Avez-vous un responsable d'hygiène ou assainissement ?

2- Oui Non

3- Avez-vous un laboratoire interne ?

4- Oui Non

5- Analysez-vous les éléments traces métalliques ?

6- Oui Non

6- Quelles sont vos consignes au personnel en matière d'hygiène ?

.....
.....

7- Vos consignes sont-elles respectées ?

Oui Non

Sinon

pourquoi.....

.....
.....

8- Avez-vous signé un protocole d'accord avec le LNSP pour l'analyse de vos eaux ?

Oui Non

9- Si Oui depuis quelle date ?/...../...../

10- Sinon comptez-vous le faire ?...

.....

11- Quelle est la nature des conduites d'exore du forage ?

PVC Galva Autres Préciser

12- D'où commandez-vous les contenants pour le conditionnement ?

.....
.....

13- Avez-vous une idée sur la composition ou la nature des contenants ?

14- Oui Non

15- Quels sont les différents traitements administrés à l'eau avant le conditionnement ?

.....
.....
...

16- Avez-vous une politique de salubrité de la ville par la collecte de vos sachets ?

Oui Non

Si oui laquelle ?.....

ANNEXE 8 : Voies de dégradation de BPA par des microorganismes spécifiques

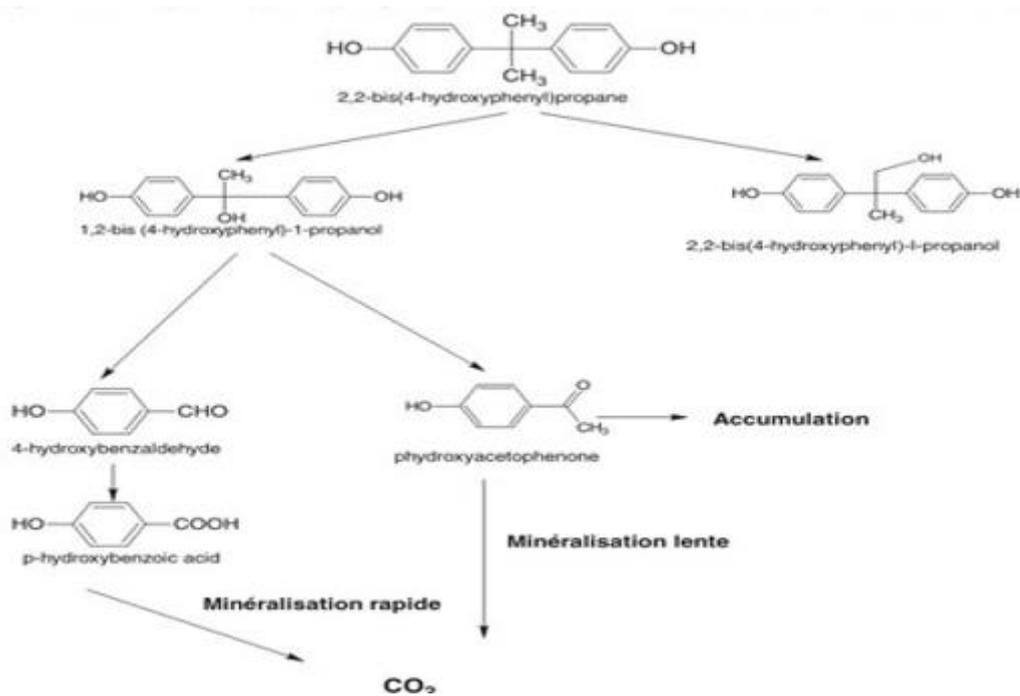


Figure d'une voie de dégradation du BPA par *Sphingomonas* sp. Strain BP7 ; présentée par Sakai et al. en 2007

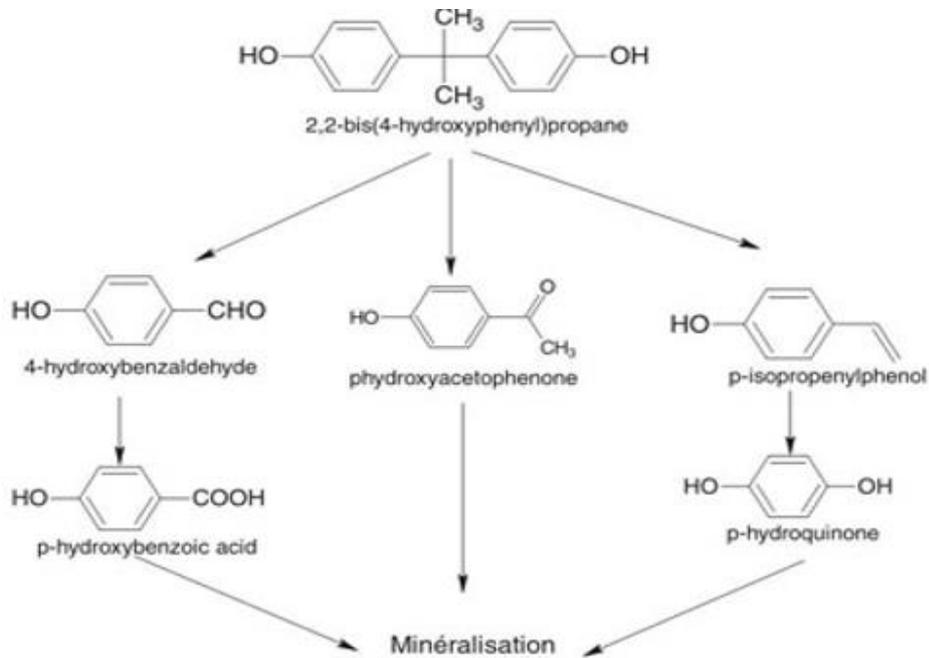


Figure de dégradation du BPA par *Achromobacter xylosoxidans* ; présentée par Zhang et al. en 2007