

## RESUME

### Introduction

Ce travail a pour objectif de ressortir les impacts sanitaires de la pollution de l'eau par les bactéries, les métaux toxiques et les pesticides dans la zone cotonnière de la commune de Kérou dans le bassin du Niger. Il s'agit de faire la caractérisation physico-chimique, bactériologique et toxicologique de l'eau des puits, des forages et du fleuve Mékrou afin d'évaluer les risques sanitaires d'exposition liés à ces xenobiotiques via la consommation de l'eau de boisson.

### Matériel et méthodes

Il a été procédé premièrement à l'analyse comparative des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'eau des puits, des forages et celle du fleuve Mékrou. Au second volet, il s'est agi d'évaluer les risques d'exposition aux métaux lourds et aux pesticides par la consommation de l'eau de boisson à travers diverses analyses au laboratoire. Pour avoir une idée claire de la situation, cette évaluation s'est appuyée sur un prélèvement de sang et d'urine d'un échantillon de la population exposée (39 cas) en particulier au plomb avec le calcul de la Doses Journalières d'Exposition (DJE) et du Quotient de Danger (QD) ainsi que la recherche de certains paramètres bio-marqueurs tels que l'urémie, la créatinémie, la transaminase TGP, le cholestérol total et le calcium urinaire indicateurs de toxicité. Enfin, une enquête de recensement des troubles récurrents au sein de l'échantillon enquêté a été faite.

### Résultats

1) Les résultats comparatifs des paramètres physico-chimiques et bactériologiques ont montré que l'eau de tous les puits étudiés contient des coliformes et des streptocoques fécaux avec une forte pollution azotée par rapport aux eaux des forages.  
2) Les analyses toxicologiques ont révélé la présence du plomb et ont permis de dénombrer 76 molécules de résidus des pesticides dans les eaux de forage  
3) Les résultats des paramètres biochimiques ne sont pas tous hors-limites, cependant les troubles recensés chez les personnes prélevées sont identifiables aux symptômes du saturnisme.

### Discussion et Conclusion

La différence de concentration physico-chimique et bactériologique entre l'eau des puits et celle des forages explique la vulnérabilité de l'eau des puits par rapport à celle des forages qui paraît plus protégée. Néanmoins, les résultats des analyses toxicologiques de l'eau des forages ont montré la présence des résidus de 76 molécules de pesticides et la présence des métaux toxiques. De plus, les analyses de sang ont révélé qu'il y a risque d'accumulation du plomb dans l'organisme au regard du calcul des DJE et QD qui dépassent parfois le seuil de toxicité dans le sang. Dès lors, il apparaît donc que grâce à l'autoépuration à travers l'infiltration, l'eau des forages se débarrasse des bactéries, ce qui n'est pas forcément le cas pour les résidus de pesticide et de métaux lourds qui s'y retrouvent. En somme, les résultats obtenus à travers les différentes analyses sont suffisamment inquiétants pour qu'une surveillance accrue des eaux soit initiée dans le bassin hydrographique du Niger avec des séries de sensibilisation afin de préserver la vie et les écosystèmes qui y vivent.

**Mots clés :** Bassin du Niger - Bactéries-métaux toxiques-pesticides - pollution

## SUMMARY

### Background

This work aims to highlight the health impacts of water pollution by bacteria, toxic metals and pesticides in the cotton zone of Kérou in watershed of River Niger. It is about to assess characterization physico-chemical, bacteriological and toxicological of well's water, boreholes and River Mekrou in order to appreciate the health risks of exposure to these xenobiotics through consumption.

### Material and methods

Firstly, it was conducted in the laboratory analysis of physico-chemical parameters and bacteriological of well's water, boreholes and River Mekrou. The second part, it came to assess the risks of exposure to heavy metals and pesticides through the consumption of drinking water through laboratory analysis. To get a clear picture of the situation, this assessment was based on a blood sample from a group of the exposed population (39 cases) in particular on lead with the calculation of Daily Exposure Dose (DED) and the Quotient of Danger (QD), looking for some biomarkers parameters indicators of toxicity such as urea, creatinin, transaminase, total cholesterol and urinary calcium. Finally, a scrupulous checkin account of recurrent troubles among surveyed persons has been conducted

### Results

1) The comparison of physico-chemical and bacteriological results showed that water from all the wells examined contained coliforms and fecal streptococci with high nitrogen pollution over boreholes water.  
2) The toxicological analysis revealed the presence of lead and have allowed to count 76 molecules residues of pesticides in borehole water  
3) The results of biochemical parameters were not all out of-limits, however the census of disorders in individuals collected are identifiable symptoms of lead poisoning.

### Discussion and Conclusion

The difference in physico-chemical and bacteriological concentration observed in wells and boreholes explains the vulnerability of the wells water compared to boreholes water that seems more protected. Nevertheless, the results of toxicological tests of water from boreholes showed the presence of residues of 76 pesticides molecules and the presence of toxic metals. In addition, blood tests revealed that there is risk of accumulation of lead in the body in relation to the calculation of the ECD and QD that sometimes exceed the threshold of toxicity in the blood. Therefore, it clearly appears that with the self-purification through infiltration, boreholes water get rid of bacteria, which is not necessarily the case for pesticide residues and heavy metals found in it. Finally, the results obtained through the various tests are sufficiently worrying to increase the monitoring of water in the watershed of Niger River with series of awareness in order to preserve the life and ecosystems in the area

**Keywords:** Watershed Niger - Bacteria toxic metals - pesticides - Pollution

"Contraintes agricoles et impacts sanitaires liés à la pollution de l'eau par les bactéries, les métaux toxiques et les pesticides dans le bassin du Niger"  
Thèse présentée par : **ELEGBEDE MANOU Bernadin**  
pour l'obtention du grade de Docteur en Toxicologie de l'Environnement.



Faculté des Sciences  
et Techniques



Université  
d'Abomey-Calavi



FACULTE DES LETTRES ARTS  
ET SCIENCES HUMAINES



Chaire UNESCO  
"Sciences, Technologie  
et Environnement"

## ECOLE DOCTORALE PLURIDISCIPLINAIRE "ESPACE, CULTURE ET DEVELOPPEMENT"

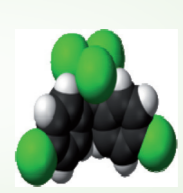
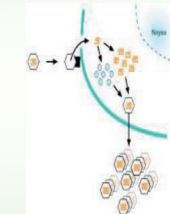
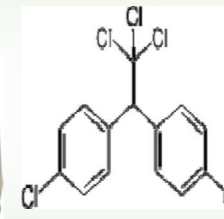
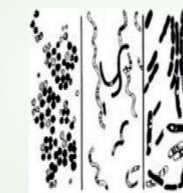
Thèse de doctorat unique présentée par:  
**ELEGBEDE MANOU Bernadin**  
Pour l'obtention du grade de Docteur de l'Université d'Abomey-Calavi

Option: Gestion de l'Environnement

Spécialité: Environnement-Santé-Développement



Numéro d'Enregistrement : .....



## CONTRAINTES AGRICOLES ET IMPACTS SANITAIRES LIES A LA POLLUTION DE L'EAU PAR LES BACTERIES, LES METAUX TOXIQUES ET LES PESTICIDES DANS LE BASSIN DU NIGER : CAS DE LA ZONE COTONNIERE DE KEROU (BENIN)

Sous la direction de :  
**Patrick A. EDORH**  
Dr. Toxicologie de l'Environnement  
Maître de Conférences CAMES  
FAST/UAC

Soutenu publiquement le Jeudi 26 Avril 2012 avec mention très honorable devant le jury composé de :

- Président** : - Professeur CREPPY Ekoué Edmond, Professeur Titulaire, Université Victor Segalen Bordeaux 2(France).
- Rapporteurs** : - Professeur GBEASSOR Messanvi, Professeur Titulaire, Université de Lomé(Togo)  
: - Professeur EDORH A.Patrick, Maître de Conférences, Université d'Abomey-Calavi(Bénin).
- Examineurs** : - Professeur BOKO Michel, Professeur Titulaire Université d'Abomey-Calavi (Bénin)  
: - Professeur LOKO Frédéric, Professeur Titulaire, Université d'Abomey-Calavi(Bénin).  
: - Professeur AMINOU Taofic, Maître de Conférences, Université d'Abomey-Calavi(Bénin)



## Sommaire

Dédicace.....	iv
Avant propos.....	v
Liste des sigles et abréviations.....	x
Liste des tableaux .....	xii
Liste des figures .....	xii
Liste des photos.....	xiii
Résumé .....	xiv
Summary .....	xv
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>Organisation du document .....</b>	<b>2</b>
<b>CHAPITRE 1 : CADRE THEORIQUE ET GENERALITES .....</b>	<b>4</b>
1-1 CADRE THEORIQUE .....	5
1-2 Généralités .....	11
<b>CHAPITRE 2 : CADRE DE L’ETUDE.....</b>	<b>51</b>
2.1 Description physique du cadre d’étude .....	52
2.2. Les réalités sociodémographiques et économiques.....	58
2.3. Etat du sol et environnement .....	59
<b>CHAPITRE 3 : DEMARCHES METHODOLOGIQUES.....</b>	<b>66</b>
3.1. Composition de l’équipe de recherche .....	67
3.2. Méthodologie de recherche .....	67
<b>CHAPITRE 4 : RESULTATS, DISCUSSION ET VERIFICATION DES HYPOTHESES.....</b>	<b>87</b>
4.1. Résultats et discussions.....	89
4.2. Vérification des hypothèses.....	158
<b>ANNEXES.....</b>	<b>184</b>
<b>Annexe 4 : Qualité microbiologique de l’eau de boisson dans les restaurants de Porto- Novo .....</b>	<b>185</b>
<b>Annexe 5: Comparison of the toxic metals pollution in soil, water and vegetables on three major gardening sites of Benin.....</b>	<b>196</b>
<b>Annexe 6 : Analyse des eaux de forage.....</b>	<b>205</b>
<b>Annexe 7 : Compte rendu d’analyse à l’Hôpital de Zone d’Abomey-Calavi/Sô-Ava....</b>	<b>215</b>

<b>Annexe 8: Caractéristiques physico- chimiques de l'eau de forages, de puits, du fleuve et coordonnées GPS des ouvrages .....</b>	<b>216</b>
<b>Annexe 9 : Tests statistiques pour la distribution des teneurs de plomb .....</b>	<b>218</b>
<b>Annexe 10 : Questionnaire d'enquête.....</b>	<b>219</b>
<b>TABLE DES MATIERES .....</b>	<b>221</b>

## Dédicace

### A

- **M**on cher père ELEGBEDE MANOU Richard «MAYEGOUN TI ILOU ALAGBE » pour m’avoir mis à l’école... et, Ma très chère aimée maman LADELE Djoladé, pour toutes les souffrances matérielles et morales qu’elle a consenties pour mes études, qu’elle y trouve la consolation ;
- **M**on épouse YOSSIDE Nékima Dénise, qu’elle y trouve le résultat d’un travail réussi grâce à son soutien ;
- **M**es enfants, Nadège, Blandine, Silifat, Robiath, Mouléro, Azis, Adjokè, Myriam, Adénikè, Ashani et Prince Kolawolé, El-Farouf Adégoké Adékambi Alao, qu’ils comprennent qu’ils ont un défi à relever en menant le combat quotidien pour être parmi les meilleurs tout en ayant à l’esprit les maximes suivantes : « on a rien sans peine » et « Honte à l’enfant qui fait moins que son papa ! ».

***A toutes les femmes africaines en général et à celles du Bénin en particulier, astreintes à la corvée quotidienne d’eau potable et à toutes les victimes de maux liés à l’eau.***

## **Avant propos**

Au Bénin, l'eau est depuis très longtemps considérée comme une ressource inépuisable. Mais depuis quelques années, on se rend compte que ce n'est pas le cas, du moins en ce qui concerne l'eau potable. En effet, le potentiel hydrique annuel du Bénin est estimé à moins de 13 milliards de m<sup>3</sup> les eaux de surface et 2 milliards de m<sup>3</sup> pour l'eau souterraine renouvelable. Dans les conditions normales, ce potentiel devrait permettre au Bénin d'assurer un développement harmonieux et durable. Cependant, force est de constater que non seulement les changements climatiques amenuisent sa quantité mais aussi les différentes activités anthropiques dégradent au jour le jour sa qualité. Les institutions nationales, internationales ainsi que les Etats sont motivés pour proposer des adaptations paysannes aux menaces du milieu physique, aux changements climatiques, à la réduction des terres, aux subventions des producteurs du Nord qui étouffent le coton des pays du Sud. Néanmoins, très peu d'attention est portée vers les terres agricoles, les eaux, les denrées alimentaires contaminés par les métaux toxiques à travers ces mauvaises pratiques agricoles. Or dans divers rapports, la FAO a souvent averti : « les effets polluants des pesticides et fertilisants utilisés en agriculture endommagent les réserves d'eau en surface et d'eau souterraine ».

Pour arrêter cette dégradation constante de l'environnement du fait des activités anthropiques, il urge de repenser la politique de l'eau qui doit passer d'une gestion sectorielle qui a déjà montré ses limites, à une Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) qui permettra de maximiser de manière équitable, le bien-être économique et social, sans pour autant compromettre la pérennité des écosystèmes vitaux du fait de la pollution

C'est dans ce cadre que la présente étude a été menée sur la pollution de l'eau par les bactéries, les métaux toxiques et les pesticides, résultant des extrêmes adaptations de mise en valeur des terres imposées par les multiples contraintes agricoles.

Ce travail a bénéficié du soutien d'un certain nombre d'acteurs que nous tenons à remercier.

## Remerciements

Nous tenons à exprimer nos sincères reconnaissances et nos gratitudeux aux pré-rapporteurs pour l'évaluation de ce document scientifique et les améliorations à y apporter :

Le Professeur Titulaire Edmond E. CREPPY de l'Université Victor Segalen Bordeaux 2, Directeur du Laboratoire de Toxicologie et de l'Hygiène Appliquée ;

Le Professeur Titulaire Messanvi GBEASSOR du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique et Technique du Togo, Doyen honoraire de la Faculté des Sciences de l'Université de Lomé ;

Le Professeur Titulaire Michel BOKO, de la Faculté des Lettres, Arts et Sciences humaines, Directeur de l'Ecole Doctorale Pluridisciplinaire « *Espaces, Cultures et Développement* ».

Monsieur Patrick A. EDORH, Docteur en Toxicologie de l'Environnement, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université d'Abomey –Calavi.

Toute entreprise humaine individuelle est le résultat de décisions et d'efforts dont les acteurs sont pluriels. Ce travail a donc pu être réalisé grâce au concours de plusieurs personnes à qui nous témoignons sincèrement ici notre infinie gratitude. Il s'agit notamment de :

- Monsieur Michel BOKO, Professeur Titulaire à la Faculté des Lettres, Arts et Sciences humaines, Directeur de l'Ecole Doctorale Pluridisciplinaire « *Espaces, Cultures et Développement* », pour son soutien et son aide dans le judicieux choix du directeur de thèse. Qu'il nous soit permis de l'en remercier.
- Monsieur Patrick A. EDORH, Docteur en Toxicologie de l'Environnement, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences et Techniques, notre Directeur de thèse. Il a été la pièce maîtresse de cette aventure. Que ce travail soit pour lui et pour sa famille le couronnement d'une mission bien accomplie.
- Le Professeur AMINOU Taofic, nous sommes très honorés de vous compter parmi nos juges malgré vos multiples occupations actuelles.
- Le Professeur titulaire LOKO Frédéric, pour avoir accepté de participer à ce jury. Nous vous prions de croire à l'expression de notre profonde gratitude.
- Tous les Professeurs de l'Ecole Doctorale qui, grâce aux différents cours dispensés, nous ont permis d'accroître notre performance scientifique. Soyez en remerciés.
- Monsieur AFFO Fabien Maître-Assistant à la Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaine de l'Université d'Abomey-Calavi (UAC), nous le remercions pour sa contribution à l'analyse statistique des données.

- Monsieur Christophe KAKI Maître-Assistant au Département des Sciences de la terre de la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université d'Abomey-Calavi (UAC), Benin pour sa contribution dans la rédaction des articles scientifiques.
- Monsieur Koffi KOUDOVO du Département de Physiologie/Pharmacologie, Faculté des Sciences, Université de Lomé (UL), Togo pour son assisance.
- Monsieur Kissao GNANDI Professeur à l'Université de Lomé, qui nous a beaucoup aidé lors des différentes analyses et nous a prodigué des conseils utiles pour la réussite de cette thèse.
- Monsieur Edmond E. CREPPY Professeur à l'Université de toxicologie de Bordeaux II. Merci pour les conseils prodigués au moment où il présidait la soutenance de notre DEA. Vous nous avez fait un très grand honneur pour avoir accepté à nouveau la présidence de ce jury de thèse.
- Monsieur François Adébayo ABIOLA, Professeur et actuel Ministre de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique du Bénin pour son soutien moral.
- Professeurs Bertrand RIHN d'Unité Inserm U525, Faculté de Pharmacie, Rue 30 Lionnois, 54000 Nancy, France pour sa contribution dans la rédaction de nos articles.
- Madame Paule VASSEUR du Laboratoire Interaction d'Ecotoxicologie, de Biodiversité et d'Ecosystème (L.I.E.B.E.) CNRS UMR 7146, Metz-France, pour sa lecture critique de nos articles.
- Monsieur Chan YOU de l'Université de Sushou dans les banlieues de Shangaï, pour les formations reçues lors de notre stage sur « Les techniques de contrôle de la pollution de l'eau en Chine » dans le cadre de cette thèse
- Messieurs et Mesdames FRIEDMAN, M.G. ELHARAR, I. BIJAOUI, M.K. FARAR, M.O KHALIFA, Z. GANOR et Madame N. GILADI, Florence, de l'Institut Galilée de Management pour les formations données lors du stage sur la « Gestion de l'eau et sécurité alimentaire » en Israël dans le cadre de la soutenance de cette thèse.
- Tous les PTF qui interviennent dans le secteur Eau et Assainissement au Bénin, l'USAID, le fond Saoudien, l'UNICEF, Plan Bénin, l'AFD, le PNUD, la Coopération Allemande, le Royaume de Danemark, l'Union Européenne, la Coopération Japonaise pour leurs appuis au secteur.
- Messieurs W. Wouter PLOMP, Ambassadeur du Royaume des Pays-Bas près le Bénin, Carel de GROOT, chargé des questions d'eau et d'assainissement et Camille

DANSOU de la même Ambassade pour avoir accepté de financer notre stage d'étude sur la GIRE en Israël.

- L'Ambassade de la Chine près le Bénin qui nous a offert l'occasion d'aller en stage d'étude sur la question de la pollution de l'eau.
- Madame Martine VAN DOOREN, ex-Directrice Générale de la Coopération Technique Belge, pour son soutien.
- Messieurs Sylvestre BEA consultant de la Banque mondiale, Falk NEGRAZUS conseillers international de la GIZ et DORSCH Lambert PETERS Hydrogéologue de IGIP, pour les différentes formes d'assistance que j'ai reçues lors des études et la rédaction de cette thèse.
- Monsieur AHOUANSOU Corneille, actuel Secrétaire Général du Ministère en charge de l'Eau pour nous avoir inculqué la rigueur, la détermination, l'abnégation, le goût du travail bien fait, l'obligation de résultat et le souci d'un travail bien fait lors de nos premiers pas dans l'administration. Qu'il en soit remercié.
- Messieurs BANI Samari et Soulé ADAM respectivement ancien et actuel Directeur Général de l'Eau pour leur soutien indéfectible.
- Messieurs Joachim SAMA, Colin GBAGUIDI, Julien SEDJAME, KONAN MERE, Félix AZONSI, FASSINOU Anatole, Grégloire ALLEY et tous les collègues, amis ou collaborateurs de la Direction Générale de l'Eau dont nous n'avons pas pu citer les noms, mais pour qui nous avons une forte pensée.
- Monsieur IDJI Kolawolé Antoine et Madame Aïchatou IDJI, leurs affections et soutiens permanents ont contribué à l'heureux aboutissement de ce travail.
- Madame Hermione BOKO pour son soutien inconditionnel à des moments précis lors de cette formation. Que ce travail soit pour elle l'expression d'une mission réussie.
- Madame Monique OUASSA KOUARO, Maître-Assistant à l'Université d'Abomey Calavi. Je n'aurai pas la chance de m'inscrire à l'Ecole pluridisciplinaire sans son éclairage et son soutien. Qu'elle veuille recevoir ici l'expression de mes sincères gratitude.
- Madame Madeleine HOUPHOUET ANOH, Chargée de contrôle de pollution au Ministère Ivoirien de l'Environnement pour sa contribution scientifique à l'aboutissement de ce travail.
- Tous nos frères, sœurs et oncles Adébo Félix ELEGBEDE, l'Abbé Moïse ADEKAMBI, ADEKAMBI Rodrique, Saliou LADELE, Chitou LADELE, Rabiou



LADELE, Samuel, James Adéwalé, Délé, Sunday, Shadé Elizabeth, Gbadébo, Juliana Faramadé, qu'ils y trouvent la fierté fraternelle.

- Toute la famille YOSSIDE à Natitingou pour son soutien.
- Monsieur Luc KOUMOLOU Chercheur-Doctorant à l'Université de Lomé pour son appui et pour sa participation à la consolidation scientifique de ce document.
- Monsieur Lucien AGBANDJI, Chercheur-Doctorant à l'Ecole Doctorale Pluridisciplinaire de la FLASH/UAC, pour la lecture critique de cette thèse.
- Monsieur Soulémame AHODJIDE, pour sa disponibilité et son dévouement à la finalisation de cette œuvre.
- Monsieur Alain AISSI, pour sa disponibilité, sa contribution aux enquêtes de terrain et pour les différentes analyses de laboratoire.
- Monsieur EDJIYATO Gérard pour son assistance dans la mise en forme de cette thèse.
- Monsieur HOUNKPE Virgile Médecin chef au Centre de Santé de Kérou, Monsieur Frédéric Worou laborantin à l'hôpital de Zone de Natitingou, Madame HOLOGAN Azaratou née SEMEGUI Infirmière à Wohoré, Madame N'KOUE Pierrette Infirmière à Firou, Monsieur ADEOYE Victor infirmier à Kossou Ouinra, Monsieur GOUNOU Séké de la Division du Développement Communautaire au Service de l'Eau de l'Atacora pour leur collaboration lors des enquêtes de terrain.
- Nous remercions sincèrement le PDG de Toundé imprimerie et tous ses collaborateurs en occurrence Messieurs ZINSOU et Fructueux pour leur soutien dans le cadre de la reliure et l'assemblage de cette thèse.
- Nous remercions tous les pré-rapporteurs pour l'évaluation de ce document scientifiques et les améliorations apportées.
- Tous ceux que nous n'avons pas cités, et qui d'une manière ou d'une autre m'ont incité et ont contribué à la réalisation de ce travail, qu'ils reçoivent nos sincères remerciements.

## Liste des sigles et abréviations

ABE	: Agence Béninoise pour l'Environnement
AEPA	: Approvisionnement en Eau Potable et Assainissement
AEP	: Approvisionnement en Eau Potable
AEV	: Adduction d'Eau Villageoise
AFSSA	: Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments
AIC	: Association Interprofessionnel des producteurs de Coton
ASSITEB	: ASSociation Internationale de Techniciens Biologistes
ATSDR	: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (Agence américaine des substances toxiques et du registre des maladies)
CARDER	: Centre Agricole Régionale de Développement Rural
CCC	: Communication pour un Changement de Comportement
CGPE	: Comité de Gestion de Point d'Eau
CTA	: Centre Technique de Cooperation Agricole et Rurale
DANIDA	: DANish International Development Agency
DDMEE	: Direction Départementale des Mines, de l'Energie et de l'Eau
DIEPA	: Décennie Internationale de l'Eau Potable et de l'Assainissement
DJT	: Dose Journalière Tolérable
DG Eau	: Direction Générale de l'Eau
DGH	: Direction Générale d'Hydraulique
DHT	: Dose Hebdomadaire Tolérable
DIREN	: Direction Régionale de l'Environnement Rhône-Alpes
DL	: Dose Létale
FBC	: Facteur de Concentration
FAO	: Organisation des Nations-Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
FPM	: Forage équipé de Pompe à Motricité humaine
GIRE	: Gestion Intégrée des Ressources en Eau
GTVD	: Gestion, Traitement et Valorisation des Déchets
GTZ	: Gesellschaft Technische Zusammenarbeit
Hbt	: Habitant
HEPS	: Health Education in Primary School
IEC	: Information Education Communication
IGBP	: Intergovernment Geosphere-Biosphere Programme
IGN	: Institut Géographique National
INRAB	: Institut National de Recherches Agricoles du Bénin
INSAE	: Institut National de Statistiques et d'Analyses Economiques
IRGIB-AFRICA	: Institut Régional du Génie Industriel des Biotechnologies et Sciences Appliquées
IRD	: Institut de Recherche et de Développement
L	: Litre
LOAEL	: Low Observed Adverse Effect Level
MGE-Conseil	: Management Général et Expertise Conseil
MSSS	: Ministère de la Santé et des Services Sociaux du Québec

NOAEL	: No observed adverse effect level
NRC	: National Research Council
NPK	: Nitrate Phosphore Potassium
OBEPAB	: Organisation Béninoise pour la Promotion de l'Agriculture Biologique
OEHHA	: Office of Environmental Health Hazard Assessment
OMD	: Objectifs du Millénaire pour le Développement
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
ONU	: Organisation des Nations Unies
PACEA	: Programme d'Appui aux Communes dans le secteur de l'Alimentation en Eau potable et de l'Assainissement en milieu Rural.
PADEAR	: Programme d'Appui au Développement du secteur de l'Alimentation en Eau potable et de l'Assainissement en milieu Rural.
PAN	: Réseau d'Action contre les pesticides
PANA	: Programme d'Action National d'Adaptation aux Changements climatiques
PDC	: Plan de Développement Communal
PEA	: Poste d'Eau Autonome
PM	: Puits Moderne (ou puits à grand diamètre)
PNUD	: Programme des Nations Unies pour le Développement
QD	: Quotients de Danger
Rfd	: Dose de Référence
RGPH	: Recensement Général de la Population et de l'Habitation
SDH	: Service Départemental de l'Hydraulique
SCRP	: Stratégie de Croissance pour la Réduction de la Pauvreté
SONAPRA	: Société Nationale pour la Promotion Agricole
UAC	: Université d'Abomey Calavi
USAID	: Agence des Etats-Unis d'Amérique pour le Développement International.
US-EPA	: United States environmental protection agency
VIP	: Ventileted Improved Pit
VTR	: Valeur Toxicologique de Référence

## Liste des tableaux

Tableau I : Conférences internationales sur l'eau .....	12
Tableau II: Sources anthropiques des métaux lourds et métalloïdes.....	24
Tableau III : Modes d'absorption des pesticides et leurs effets sur la santé humaine.....	41
Tableau IV: Taux de couverture en ouvrages d'approvisionnement en eau potable.....	63
Tableau V: Concentrations des étalons .....	79
Table XII: Distribution of drillings (F) in the districts of Kérou.....	129
Table XIII: Results of proportioning of the water samples in pesticides .....	130
Table XV: Collected data on the level of consumption of water in the study zone .....	142
Table XVI: Contents of lead in the water samples.....	142
Table XVII: Result of blood lead proportion and lead levels water.....	150
Table XVII: Result of biological indicators of lead toxicity.....	152

## Liste des figures

Figure 0 : Cadre conceptuel .....	3
Figure 1: Schéma d'un aquifère montrant ses différentes zones.....	17
Figure 2: Mécanisme d'action des xénobiotiques .....	28
Figure 3: Diffusion, accumulation, fixation, transport et dégradation des pesticides dans l'air, le sol et l'eau ....	42
Figure 4 : Répartition des pesticides dans l'environnement.....	43
Figure 5 : Différentes voies d'absorption des xénobiotiques .....	47
Figure 6 : Evaluation du risque, d'après les quatre étapes de l'évaluation des risques pour la santé humaine ....	49
Figure 7 : Localisation de la commune cotonnière de Kérou.....	53
Figure 8 : Localisation des sites de prélèvement.....	74
Figure 9 : Molécule de DDT .....	81
Figure 10: Dérivés du DDT.....	81
Figure11: Molécule d'endosulfan .....	82
Figure 12: Molécule d'atrazine .....	82
Figure 13: Diazinon .....	82
Figure 14: Kérou municipality showing the water points .....	106
Figure 15: Comparison of the variation of some physical parameter (temperature, pH, electrical conductivity) of the wells and boreholes water. ....	108
Figure 16: Comparison of the variation of some chemical parameters (phosphate, ammonium and nitrates) of the wells and boreholes water .....	110
Figure 17 shows the location of water points in these four districts .....	118
Figure 18: Concentrations of various toxic metals in the boreholes water at Kerou.....	122
Figure 19: Contents of pesticides in water samples of boreholes.....	132
Figure 20: Cumulated contents of pesticides in water of drilling.....	133
Figure 21: Measurement of lead in drinking water .....	142
Figure 22: Correlation between blood lead levels and lead in water.....	151
Figure 23 : Evolution de la teneur de plomb dans les forages à Kérou.....	158

## Liste des photos

Photo 1: Usage des forages par la population .....	64
Photo 2: Longue file autour d'un puits.....	64
Photo 3: Usage des marigots comme eau de boisson.....	65
Photo 4: Equipe de recherche sur le terrain .....	67
Photo 5: Prélèvement d'eau de forage <i>in-situ</i> à Kossou Ouinra.....	71
Photo 6: Prise des coordonnées géographiques à Kossou Ouinra.....	73
Photo 7: Prélèvements du sang .....	75
Photo 8 : Stockage de pesticides .....	81
Photo 9: Forages implanté dans un champ .....	82
Photo 10: Analyses des métaux au laboratoire de l'Université de Lomé au Togo.....	83
Photo 11 : Mode de puisage courant      Photo 12 : Exemple d'un puits traditionnel utilisé .....	98
pour l'eau de boisson .....	98
Photo 13 : Exemple de pompe UPM.....	98

## Résumé

Ce travail a pour objectif de ressortir les impacts sanitaires de la pollution de l'eau de boisson par les bactéries, les métaux toxiques et les pesticides dans la zone cotonnière de la Commune de Kérou située dans le bassin du Niger. Il s'agit de faire la caractérisation physico-chimique, bactériologique et toxicologique de l'eau des puits, des forages et celle du fleuve Mékrou, afin d'évaluer les risques sanitaires d'exposition liés à ces xénobiotiques par la consommation de l'eau de boisson.

Il a été procédé premièrement à l'analyse comparative des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'eau des puits, des forages et celle du fleuve Mékrou.

Au second volet, il s'est agi d'évaluer les risques d'exposition aux métaux lourds et aux pesticides par la consommation de l'eau de boisson à travers des analyses au laboratoire.

Pour avoir une idée claire de la situation, cette évaluation s'est appuyée sur un prélèvement de sang et d'urine d'un échantillon de la population exposée (39 cas) en particulier au plomb avec le calcul de la Doses Journalières d'Exposition (DJE) et du Quotient de Danger (QD) ainsi que la recherche de certains paramètres bio-marqueurs tels que l'urémie, la créatinémie, la transaminase TGP, le cholestérol total et le calcium urinaire indicateurs de toxicité.

Enfin, une enquête de recensement des troubles courants au sein de l'échantillon enquêté a été faite.

Les résultats comparatifs des paramètres physico-chimiques et bactériologiques ont montré que l'eau de tous les puits étudiés contient des coliformes et des streptocoques fécaux avec une forte pollution azotée par rapport aux eaux des forages.

Les analyses toxicologiques ont révélé la présence du plomb et ont permis de dénombrier 76 molécules de résidus de pesticides dans les eaux des forages.

Les résultats des paramètres biochimiques ne sont pas tous hors-limites, cependant les troubles recensés chez les personnes prélevées sont identifiables aux symptômes de saturnisme.

La différence de concentration physico-chimique et bactériologique entre l'eau des puits et celle des forages explique la vulnérabilité de l'eau des puits par rapport à celle des forages qui paraît plus protégée.

Néanmoins, les résultats des analyses toxicologiques de l'eau des forages ont montré la présence des résidus de 76 molécules de pesticides et la présence des métaux toxiques. De plus, les analyses de sang ont révélé qu'il y a risque d'accumulation du plomb dans l'organisme au regard du calcul des DJE et QD qui dépassent parfois le seuil de toxicité dans le sang.

Dés lors, il apparaît que grâce à l'autoépuration à travers l'infiltration, l'eau des forages se débarrasse des bactéries, ce qui n'est pas forcément le cas pour les résidus de pesticide et de métaux lourds qui s'y retrouvent.

En somme, les résultats obtenus à travers les différentes analyses sont suffisamment inquiétants pour qu'une surveillance accrue des eaux soit initiée dans le bassin du Niger avec des séries de sensibilisation afin de préserver la vie et les écosystèmes de la région.

**Mots clés : Bénin, Bassin du Niger, Bactéries-Métaux toxiques, Pesticides, Pollution.**

## Summary

This work aims to highlight the health impacts of water pollution by bacteria, toxic metals and pesticides in the cotton zone of Kérou in watershed of River Niger. It is about to assess the physico-chemical, bacteriological and toxicological of surface water, underground water (wells and boreholes) in order to appreciate the health risks of exposure to these elements through consumption.

Firstly, it was conducted in the laboratory analysis of physico-chemical parameters and bacteriological of water from well, boreholes and River Mekrou.

The second part, it came to assess the risks of exposure to heavy metals and pesticides through the consumption of drinking water through laboratory analysis.

To get a clear picture of the situation, this assessment was based on a blood sample from a group of the exposed population (39 cases) in particular lead with the calculation of Daily exposure dose (DED) and the Quotient of Danger (QD), looking for some biomarkers parameters indicators of toxicity such as urea, creatinin, transaminase, total cholesterol and urinary calcium.

Finally, a scrupulous checkin account of recurrent troubles among surved person has been conducted.

The comparison of physico-chemical and bacteriological results showed that water from all the wells examined contained coliforms and fecal streptococci with high nitrogen pollution over drilling water.

The toxicological analysis revealed the presence of lead and allowed to count 76 molecules residues of pesticides in borehole water.

The results of biochemical parameters were not all out off-limits, however the census of disorders in individuals collected are identifiable at symptoms of lead poisoning.

The difference in physico-chemical and bacteriological concentration observed in wells and boreholes explains the vulnerability of the wells water compared to boreholes water that seems more protected.

Nevertheless, the results of toxicological tests of water from boreholes showed the presence of residues of 76 pesticides molecules and the presence of toxic metals.

In addition, blood tests revealed that there is risk of accumulation of lead in the body in relation to the calculation of Daily Exposure Dose (DED) and the Quotient of Danger (QD) that sometimes exceed the threshold of toxicity in the blood. Therefore, it clearly appears that with the self-purification through infiltration, drilling water gets rid of bacteria, which is not necessarily the case for pesticide residues and heavy metals found in it. Finally, the results obtained through the various tests are sufficiently worrying to increase the monitoring of water in the watershed of River Niger with series of awareness in order to preserve the life and ecosystems in the area.

**Keywords: Benin, Watershed Niger, Bacteria, Toxic metals, Pesticides, Pollution.**

## INTRODUCTION

L'eau constitue un élément indispensable pour la vie des êtres vivants, en particulier celle de l'Homme. L'avoir à disposition en quantité suffisante et en qualité contribue au maintien de la santé. En effet, l'eau constitue 90% du poids d'un nouveau-né et 70 % de celui de l'adulte (ASSITEB, 1997). Cependant chaque année, cinq cents millions de personnes souffrent d'une maladie d'origine hydrique, plus de treize millions de personnes meurent chaque année de pathologies liées aux eaux impropres à la consommation (Vermeyleylen, 2006). Dans les pays en voie de développement, les maladies transmises par l'eau constituent la première cause de morbidité et de mortalité au sein des populations les plus démunies (World Water Council, 2005). La Communauté Internationale, réunie en 1977 à Mar Del Plata en Argentine, a initié la Décennie Internationale de l'Eau et de l'Assainissement (DIEPA) qui avait pour but d'améliorer l'état de santé et d'accroître la productivité des populations afin de faire regresser les maladies infectieuses et parasitaires véhiculées par l'eau. Pour y parvenir, il est impérieux de mettre à la disposition des populations, de l'eau de boisson et des dispositifs adéquats d'assainissement. En effet, la politique de l'Etat béninois en matière d'approvisionnement en eau potable a connu des évolutions notoires depuis les années 1980 (DGH, 2005).

Ainsi, de 1980 à 1990, il y avait eu la DIEPA, avec pour objectif principal de garantir l'accès à l'eau potable à l'ensemble de la population, soit une couverture de 80 % des besoins en eau des populations rurales et de 100 % pour les populations urbaines (OMS/UNICEF, 2000). Un autre objectif était de fournir des services d'assainissement afin de diminuer les maladies hydriques (OMS, 1990). La DIEPA a permis au gouvernement du Bénin d'améliorer son taux de couverture par la construction d'environ 430 points d'eau par an. En 1990, le nombre de points d'eau potable disponibles était estimé à 5 350 environ. Sur la base d'une consommation de 15 L/jour/hbt et un point d'eau pour 500 habitants, le besoin évalué pour cette même année était de 9 500 points d'eau (DGH, 2005). Si les réalisations dans le domaine de l'approvisionnement en eau potable en milieu urbain ont atteint 58 % des objectifs, le taux en milieu rural n'est que de 24 % (MMEH, 1995).

Le manque de pérennité des investissements a été le principal point faible relevé par le bilan de la DIEPA à la Conférence Internationale de New Delhi en 1990.

Dans l'optique de la correction de cette faiblesse, le Bénin a élaboré en 1992, une nouvelle stratégie d'approvisionnement en eau et assainissement dont la mise en œuvre a démarré avec



le Projet d'Assistance au Développement du secteur de l'Eau Potable et de l'Assainissement en milieu Rural (PADEAR) financé par IDA et DANIDA (DANIDA, 2002).

Cette stratégie est basée sur quatre principes sacrosaints qui sont :

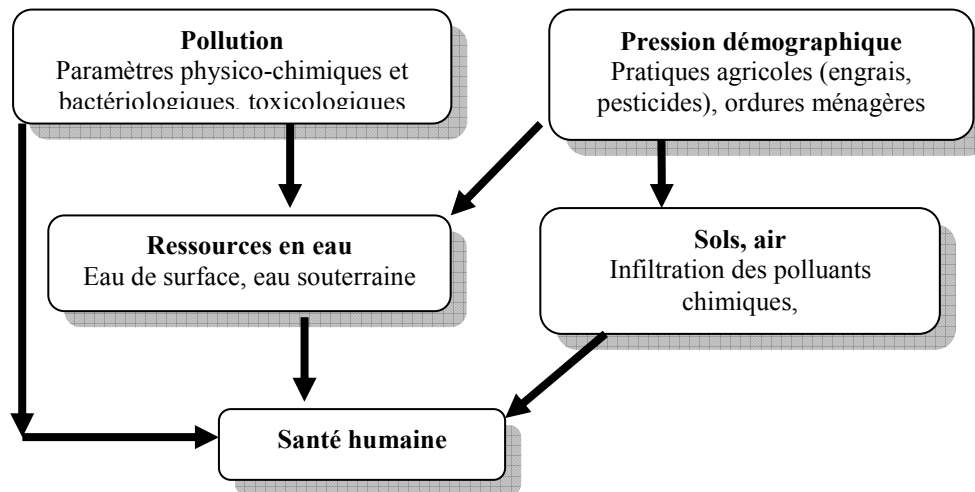
- la décentralisation du processus de décision ;
- l'approche par la demande et la participation financière des bénéficiaires à l'investissement initial;
- le renforcement du secteur privé local dans la construction,
- la réduction des coûts de construction et d'entretien des ouvrages à travers la promotion des nouvelles technologies.

A cet effet, plusieurs actions ont été entreprises par le Bénin. En 1992, le PADEAR a permis de réaliser 6000 installations hydrauliques (forages équipés de pompes à motricité humaine, puits modernes à grand diamètre, adductions d'eau villageoises AEV). Le processus de planification de ces projets est basé sur l'approche par la demande. Les mécanismes mis en place par cette stratégie ont permis de passer de 430 points d'eau par an, avant 1990 à environ 550 points d'eau en 2001 (DGH, 2005). Par ailleurs, en tenant compte de la répartition géographique des populations et pour faciliter l'accès pérenne à l'eau potable à un plus grand nombre, la norme d'équipement est passée de 1 point d'eau pour 500 hbts à 1 point d'eau pour 250 hbts. Et depuis plus de 15 ans, cette stratégie a entraîné des changements importants et a permis d'améliorer nettement la situation de l'approvisionnement en eau potable. Depuis lors, les axes stratégiques pour le développement du secteur eau sont devenus effectifs et une grande partie des acteurs s'y conforme.

### **Cadre conceptuel et organisation du document**

La présente recherche tente de mettre en évidence les relations qui existent entre la pollution de l'eau et la santé humaine dans la commune cotonnière de Kérou située dans le bassin du Niger. En effet, la figure 0 montre que les activités humaines, notamment les pratiques agricoles avec utilisation incontrôlée des produits phytosanitaires (engrais, pesticides) influent beaucoup sur la qualité de l'eau des puits et des forages dans cette zone d'étude. Par ailleurs, avec la croissance démographique, le problème de la réduction des terres cultivables et l'appauvrissement des sols, l'usage des produits phytosanitaires s'est intensifié ces dix dernières années. Ce qui n'est pas sans conséquence grave sur les autres composants de l'environnement que sont les sols, l'air et sur toute la biodiversité en général.

La variation des paramètres physico-chimiques, bactériologique et toxicologique permet d'apprécier le niveau de pollution des ressources en eau.



**Figure 0 : Cadre conceptuel**  
Source : Elégbédé, 2012

Cette thèse est structurée en quatre chapitres.

Après une introduction générale qui pose le problème, un premier chapitre présente les axes du travail à travers le cadre d'étude et les généralités sur l'eau de boisson et des pratiques agricoles susceptibles de contaminer les ressources en eau par les métaux toxiques et les pesticides. Le deuxième chapitre décrit le cadre de l'étude en même temps que la situation de la gestion de l'eau de boisson dans la zone d'étude ainsi que les contraintes y afférentes. Le troisième chapitre expose le matériel et les méthodes de collecte de données, d'analyse et de traitement. Enfin, le dernier chapitre aborde, les résultats et discussion. Le travail finit par une conclusion générale et des suggestions.

# **CHAPITRE 1 : CADRE THEORIQUE ET GENERALITES**

## **1-1 Cadre théorique**

Il met en exergue la problématique, la justification, les objectifs assortis des hypothèses.

### **1-1-1 Problématique**

Malgré les efforts du Gouvernement, les maladies infectieuses et parasitaires d'origine hydrique n'ont pas connu une régression significative au regard des statistiques sanitaires antérieures. D'ailleurs, elles demeurent encore les principales causes de morbidité et de mortalité dans les zones rurales (Assouma, 2004). L'OMS et l'UNICEF en 2000, ont estimé que 80 % environ des maladies et plus d'un tiers de morts dans les pays en développement ont un rapport avec l'eau. Cette situation suscite des inquiétudes croissantes et amène à suspecter une éventuelle pollution bactériologique de l'eau par les mauvaises pratiques de culture, d'hygiène et d'assainissement des ouvrages d'eau réalisés. On peut également soupçonner la consommation d'eau d'origine douteuse par les populations. Cette situation pose le problème de l'adéquation ressources/besoins, non pas en termes de déficit de la ressource mais en terme de sa maîtrise.

En réalité, le Bénin dispose suffisamment d'eau de bonne qualité pour satisfaire globalement les besoins à long terme de son économie et de ses populations (DGH, 2005). Selon Babadjidé (2011), ces ressources en eau se présentent sous trois formes que sont : les eaux atmosphériques, les eaux de surface et les eaux souterraines dont la qualité est altérée par les pratiques anthropiques. Donc, le problème de l'adéquation ressources/besoins se pose, non pas en terme de déficit de la ressource, mais en terme de sa maîtrise, ce qui révèle la problématique de la gestion intégrée de l'eau dans le contexte de la décentralisation dans notre pays. Tout est parti d'un certain nombre de problèmes qui favorisait les difficultés d'approvisionnement auxquelles étaient confrontées plusieurs localités de notre pays. D'abord, la loi 87-016 du 21 Septembre 1987 portant Code de l'Eau a souffert pendant longtemps de la mauvaise application de son contenu, le nouveau adopté récemment par la représentativité nationale continue également de souffrir des mêmes tares. Il y a eu pendant longtemps aussi des contradictions, des ambiguïtés et des chevauchements de responsabilités induits par d'autres textes législatifs censés être complémentaires. Cette situation était aggravée par l'absence, jusque dans un passé très récent, d'une stratégie d'ensemble, intégrant des stratégies sous-sectorielles. Différents acteurs appartenant à différentes institutions ministérielles, par manque d'un cadre de concertation fonctionnel, se disputaient

l'exploitation des ressources en eau. Ainsi, les divers acteurs du secteur de l'eau s'échangeaient difficilement les informations relatives à leurs réalisations respectives.

A toutes ces difficultés s'ajoutait celle relative à la dimension environnementale, même si elle était connue, elle n'était pas prise en compte dans la gestion des ressources en eau. D'ailleurs, aucune surveillance ou contrôle systématique de la qualité de l'eau n'a été envisagée jusque-là. Ce qui induit des risques environnementaux énormes sur les ressources en eau.

L'avènement de la décentralisation, devenue effective depuis 2003, s'avère être un atout pour la correction de ces problèmes liés à la gestion des ressources en eau disponibles. Pour se conformer aux lois de la décentralisation, la relecture de la stratégie adoptée en 1992 et revue en 2003 s'est donc imposée comme une priorité pour l'ensemble des acteurs afin d'inscrire les réalisations du secteur "Eau et Assainissement" dans le nouveau contexte de la décentralisation. Cette stratégie devrait donc permettre d'atteindre la cible 7 des Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD) qui est de : « *Réduire de moitié à l'horizon 2015 le nombre de personnes n'ayant pas accès à l'eau potable et à des installations sanitaires de base* ».

Réellement, pour espérer atteindre ces objectifs dans le sous-secteur Eau Potable, le Bénin doit réaliser un taux moyen de desserte en eau de 75 % pour les populations urbaines et de 67,3 % pour les populations rurales et semi-urbaines (Protos-Bénin, 2009). En termes d'infrastructures pour le milieu rural et semi-urbain, le pays devra s'équiper de 6.475 nouveaux FPM, 537 nouveaux ouvrages d'AEV et 287 nouveaux PEA.

En revanche, au niveau de l'Assainissement, l'objectif est d'améliorer l'accès en faisant passer le taux de 33,8 % en 2007 à 68,9 % en 2015 (Protos-Bénin, 2009).

La stratégie ayant recommandé le retrait total de l'Etat des tâches d'exécution des travaux et des études qui devront désormais revenir au secteur privé. Ainsi, la Direction Générale de l'Eau au terme du transfert des compétences devra se désengager de toute activité de réalisation de travaux. Elle devra désormais jouer le rôle régalien de contrôle de norme et d'appui conseil. Les campagnes d'information et de sensibilisation sont conduites par des structures d'intermédiation sociale sélectionnées par les Communes avec l'appui des services déconcentrés de l'état. La décentralisation à travers la programmation communale devrait permettre donc de réduire l'inégale répartition des points d'eau due notamment aux insuffisances contenues dans l'ancienne stratégie qui priorise l'approche par la demande et la

participation des bénéficiaires à l'investissement initial. Désormais les participations financières exigées à l'investissement seront payées par les Communes.

Pour atteindre les OMD, la Direction Générale de l'eau devra réaliser les ouvrages tels que :

- les puits à grand diamètre encore appelés "Puits Modernes" (PM). Il faut souligner que ce type d'ouvrage est éligible lorsque le contexte hydrogéologique n'offre plus d'autres possibilités ;
- les forages équipés de pompes actionnées à la main ou à pied. On les appelle "forage équipé de pompes à motricité humaine" (FPM) ;
- les « Postes d'Eau Autonome (PEA) », constitués d'un forage, d'un château d'eau et de rampes de robinets ;
- les Adductions d'Eau Villageoises (AEV) sont identiques au cas précédent, à la différence qu'ils sont dotés de plusieurs bornes-fontaines réparties dans le village ;
- les aménagements des sources d'eau.

L'ensemble de ces réalisations sont toujours accompagnées des séances d'information, d'éducation pour un changement de comportement, des sensibilisations sur le maintien de l'hygiène autour des ouvrages hydrauliques et les mesures de protection des zones de captage qui impliquent l'éloignement des cultures des sources d'eau de boisson.

Cependant, des inquiétudes subsistent toujours nonobstant ces précautions précédemment prises qui ont permis l'éradication de certaines maladies comme la dracunculose (ver de guinée).

A l'orée de 2015, année de rendez-vous avec la communauté internationale, pourra-t-on se permettre d'être optimiste et de croire que l'eau bue par nos populations en particulier dans les zones rurales respecte quantitativement et qualitativement les normes.

L'étude de cas s'avère donc nécessaire pour une évaluation. C'est cela qui justifie la problématique de cette thèse intitulée :

***« Contraintes agricoles et impacts sanitaires liés à la pollution de l'eau par les bactéries, les métaux toxiques et les pesticides dans le bassin du Niger : Cas de la commune cotonnière de Kérou (Bénin) ».***

### **1-1-2 Justification**

La commune de Kérou n'a pas été occultée dans toutes les actions successives antérieures et diverses politiques d'approvisionnement en eau de boisson à travers la réalisation d'ouvrages hydrauliques et des mesures de sensibilisation afférentes au respect des règles d'hygiène autour des puits et des forages. En effet, la commune de Kérou compte environ (30) puits et (102) forages (Elégbédé, 2007) pour une population de 50 780 habitants (PDC, 2006).

Ces chiffres, vus de près, signifient qu'il y a au moins un (1) point d'eau pour 385 consommateurs, ce qui suppose une forte pression humaine autour des ressources d'eau avec les risques de détérioration de la qualité de l'eau par des contaminations de toutes natures.

En réalité, l'épineux problème de la qualité de l'eau de boisson en milieu rural se trouve lié surtout à l'agriculture. La commune de Kérou est la première commune productrice de Coton dans les départements de l'Atacora et de la Donga. Depuis les années 1950 (Affo, 2011) où la culture de coton a été introduite au Bénin, l'environnement n'a cessé de subir des pressions à travers les nouvelles techniques culturales. Pour Affo (2011), les cotonculteurs ne tiennent aucunement compte des décisions administratives de protection de la nature. En effet, les enjeux socio-économiques du coton conventionnel ont tout de suite basculé les pays producteurs dans la mondialisation des systèmes de culture et de commercialisation. Les producteurs, encouragés par l'Etat se sont tous rués vers l'or blanc.

Mais des contraintes existent pour cette agriculture. En effet, les pressions socio-économiques exigent l'apparition de nouveaux concepts tels que transferts de technologies, changements des pratiques culturales, accroissement des rendements. En terme clair, l'économie de marché implique l'émergence de nouvelles pratiques culturales plus productrices avec l'abandon des systèmes de production ancestraux jugés archaïques, rudimentaires voire complexes. De même, les pressions parasitaires qui induisent une perte de récolte de l'ordre de 20 % (Ferron *et al.*, 2006) obligent à l'utilisation parfois incontrôlée des pesticides et des traitements phytosanitaires de tous genres (ABE/MEHU, 1998). La pression foncière et la gestion du potentiel terre sont devenues aussi des facteurs limitants pour la culture du coton, sans oublier les aléas naturels. Dans ces conditions, chaque producteur, partagé entre l'abandon et le désir de relever le défi ou la motivation que suscite chaque année l'Etat par souci de rendement, utilisera tous les moyens agricoles disponibles en particulier les engrais chimiques et les pesticides, au mépris de la qualité de l'environnement (Affo, 2011), voire des ressources en

eau de surface et souterraines. En effet, les fongicides souvent utilisés pour assurer la sécurité alimentaire, en plus du fait qu'ils contiennent des molécules de biocides, contiennent aussi des métaux lourds (Deluisa et al. 1996 ; Bourrelier et Berthelin, 1998). La pollution des composantes biophysiques de l'environnement à savoir les eaux de surface, les eaux souterraines, les plantes, les sédiments par les toxiques est surtout liée à la contamination du sol (Coats, 1991), lieu où l'agriculture subit toutes les pressions du paysan.

Dans ces conditions, on ne peut plus écarter les risques de contamination des bassins à travers les nappes, en particulier les puits et les forages par les produits toxiques divers, tels que les métaux toxiques et les pesticides. Ce qui ne sera pas sans conséquences graves sur la sécurité alimentaire.

Mieux, l'estimation de la qualité de l'eau de cette commune sur ces aspects s'avère d'autant plus nécessaire que l'évaluation des risques sanitaires par la consommation de l'eau des puits et des forages n'a pas été explicitement prise en compte dans la nouvelle stratégie d'approvisionnement en eau potable en milieu rural.

Ce souci d'investigation se justifie bien en ce sens que la contamination de l'eau de boisson par les produits toxiques implique l'intoxication de l'organisme. Les bactéries ingérées via la consommation de l'eau sont facilement contrôlables. Elles peuvent être éliminées avec le temps de l'organisme sous l'influence du système de défense naturelle ou de l'usage des antibiotiques. Mais, les métaux lourds issus des engrais ainsi que les pesticides utilisés pour accroître qualitativement et quantitativement les rendements agricoles ne s'éliminent pas facilement, ils ont une capacité de bioaccumulation et une demi-vie de plusieurs années (Koumolou, 2009). Leur ingestion prolongée peut être la cause de maladies graves (Hounkpatin, 2010). Le plomb par exemple passe dans le sang et va perturber de nombreux mécanismes biochimiques, touchant principalement le système nerveux central mais, perturbe aussi d'autres fonctions, comme la reproduction. Les enfants exposés de manière prolongée à de faibles doses de plomb peuvent ainsi développer un saturnisme, une maladie caractérisée par divers troubles pouvant être irréversibles : ceux-ci concernent notamment la croissance, le développement du système nerveux central, le développement intellectuel et le comportement (CNRS, 2012). A plus forte dose, le plomb peut induire même chez les adultes, aussi bien chez les hommes que chez les femmes, des troubles de la reproduction, des insuffisances rénales, ou des encéphalopathies. La difficulté avec les pesticides est qu'ils forment une



famille très nombreuse : plusieurs centaines de molécules très diverses sont en effet utilisées. En outre, dans la nature, ces molécules se dégradent, et ce faisant, en génèrent d'autres. Or les toxicités de chacune de ces substances, diffèrent et sont mal connues pour la plupart, l'incertitude portant sur les effets à long terme de doses infimes mais répétées. Certains des pesticides, comme l'atrazine, un herbicide utilisé dans la culture du maïs, sont cancérigènes. D'autres seraient susceptibles d'avoir des effets négatifs sur la fertilité masculine. Actuellement certaines molécules classées 1b (hautement dangereux) ou T (toxique) comme l'endosulfan ou le triazophos sont couramment utilisées dans la culture du coton (Affo, 2011). Une bonne partie des produits phytosanitaires se retrouvent toujours dans les eaux du fleuve où vivent les animaux aquatiques qui peuvent bien évidemment représenter des vecteurs de contamination chimique pour le consommateur humain, à travers la chaîne alimentaire.

En conséquence, l'utilisation de ces produits pose un réel problème de santé publique surtout que le nombre d'exploitants agricoles n'est pas toujours proportionnel au nombre d'encadreurs dans cet environnement agricole où l'Etat a libéralisé depuis 1992 la sous-filière intrants par l'octroi d'agrément aux importateurs et aux distributeurs privés.

Ainsi, au-delà d'une contamination bactériologique et chimique, la question se pose de savoir quelle sont la caractérisation toxicologique de l'eau de boisson dans la commune de Kérou et les risques sanitaires liés à l'exposition aux métaux lourds et aux bactéries par l'eau de boisson consommée ?

C'est pourquoi, il est proposé, au regard de cette interrogation d'asseoir la réflexion sur le thème : **«Contraintes agricoles et impacts sanitaires liés à la pollution de l'eau par les bactéries, les métaux toxiques et les pesticides dans le bassin du Niger : Cas de la commune cotonnière de Kérou (Bénin) ».**

Au demeurant, cette justification du thème de l'étude est assortie des objectifs et des hypothèses.

### **1-1-3 Objectifs**

Ils se déclinent en objectifs général et spécifique.

#### *1-1-3-1 Objectif général*

L'objectif général de l'étude est de faire la caractérisation physico-chimique, bactériologique et toxicologique de l'eau des puits, des forages et du fleuve Mékrou dans la Commune de

Kérou en vue d'évaluer les risques sanitaires d'exposition aux métaux toxiques et aux pesticides à travers la consommation de l'eau.

### **1-1-3-2 Objectifs spécifiques**

Spécifiquement, il s'agit de :

- quantifier la charge bactériologique et caractériser les paramètres physico-chimiques des eaux de boisson dans le bassin du Niger ;
- identifier les facteurs ou sources de pollution et les conséquences environnementales ;
- faire une évaluation écotoxicologique en vue de rechercher les pathologies émanant de la consommation de l'eau contaminée par les métaux toxiques et les pesticides à travers les calculs de DJE et de QD ;
- prélever, analyser le sang et l'urine d'un échantillon de la population exposée en vue de rechercher quelques paramètres biochimiques indicateurs de toxicité ;
- Faire des enquêtes épidémiologiques sur les maladies caractéristiques d'une exposition aux xénobiotiques identifiés dans l'eau

Pour vérifier ces objectifs, les hypothèses suivantes sont émises.

### **1-1-4 Hypothèses**

La présente étude se focalise sur trois hypothèses ci-après :

- Les populations de la Commune de Kérou située dans le bassin du Niger consomment des eaux de qualité douteuse ;
- Les produits phytosanitaires utilisés dans l'agriculture et les mauvais comportements constituent des sources potentielles de pollution dans le bassin du Niger;
- La consommation de l'eau de boisson dans le bassin du Niger induit des pathologies hydriques.
- L'analyse de ces centres d'intérêt a favorisé la construction de l'architecture de la présente étude.

## **1-2 Généralités**

Au moment où la formulation des engagements internationaux constitue le point de départ des diverses actions de développement des pays riches à l'égard des pays en développement (Breuil, 2004), il est nécessaire voire urgent de rappeler les enjeux mondiaux de l'eau, les

différentes normes sur la qualité de l'eau. Mieux encore, il s'agit de décrire la caractérisation et la place de l'eau de boisson dans la triade agriculture-environnement-santé.

### 1.2.1. L'eau : un enjeu mondial

L'eau potable est le premier aliment de l'Homme. Selon Le Strat, (2007), le manque d'accès à une eau saine et à un dispositif d'hygiène et d'assainissement adéquat est une cause majeure de malnutrition et de maladies infectieuses dans la plupart des pays africains. C'est pourquoi, à travers les différentes conférences la communauté internationale fait de l'accès durable à l'eau potable une priorité. Toutes ces priorités transparaissent dans les conclusions d'une série de fora internationaux (tableau I)

**Tableau I : Conférences internationales sur l'eau**

Années	Conférences sur l'eau
1990	<b>Consultation Mondiale sur l'approvisionnement en eau et l'assainissement pour les années 1990, New Delhi</b> La déclaration de New Delhi marque un changement de politique, avec notamment l'acceptation de services diversifiés : "un peu pour tous vaut mieux que beaucoup pour peu de monde" ( <i>Some for all better than all for some</i> )
1992	<b>Conférence internationale sur l'eau et l'environnement, Dublin</b> Quatre principes directeurs sont approuvés : 1) l'eau douce est indispensable à la vie, au développement et à l'environnement ; 2) la gestion et la mise en valeur des ressources en eau doivent associer usagers, planificateurs et décideurs à tous les échelons ; 3) les femmes jouent un rôle essentiel dans l'approvisionnement, la gestion et la préservation de l'eau ; 4) l'eau, utilisée à de multiples fins, a une valeur économique et devrait être reconnue comme bien économique.
1992	<b>Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement, Rio de Janeiro-Brésil.</b> Le chapitre 18 de l'Agenda 21 est consacré à la promotion d'une gestion globale de l'eau douce.
1994	<b>Conférence ministérielle sur l'eau potable et l'assainissement, Noordwijk</b> Elle débouche sur un programme d'actions, qui affirme le lien fort entre politique de l'eau et développement urbain, le rôle de l'information et de l'éducation, et l'importance des approches à petite échelle.

*Source* : Adapté de Breuil, 2004

Ainsi, de la Conférence internationale sur les soins de santé primaires, réunie à Alma-Ata (Kazakhstan), en 1978, aux OMD, adoptés par l'Assemblée Générale des Nations Unies (ONU) en 2000 et aux résultats du Sommet mondial de Johannesburg pour le développement durable en 2002, l'eau a fait l'objet de plusieurs conférences et fora mais aussi de préoccupations diverses en ce qui concerne la qualité et l'accès. Tout, récemment, l'Assemblée générale des Nations Unies a déclaré la période allant de 2005 à 2015, Décennie Internationale d'action « L'eau source de vie ». L'accès à une eau de boisson saine influe

également de manière importante sur la santé et le développement aux niveaux régional, national, et local. Pour certaines régions, il a été démontré qu'investir dans l'approvisionnement en eau et l'assainissement pouvait déboucher sur un bénéfice économique net, dans les cas où la réduction des effets sanitaires préjudiciables et des coûts des soins de santé fait plus que compenser ces dépenses. N'est-ce pas cela qui justifie la bonne place qu'occupe l'approvisionnement en eau potable dans le Document de Stratégie de Réduction de la Pauvreté du gouvernement Béninois (SCRIP, 2007) ?

Au cours des périodes 1983-1984 et 1993-1997, l'Organisation Mondiale de la Santé a publié la première et la deuxième édition des Directives de qualité pour l'eau de boisson, en trois volumes, qui font suite aux précédentes Normes Internationales de l'OMS.

Au niveau institutionnel, le programme international sur la sécurité chimique apporte des informations sur certains risques chimiques et le programme sur la sécurité radiologique contribue à la rédaction de la partie consacrée aux aspects radiologiques. Ainsi, l'eau de boisson doit respecter certaines caractéristiques standards pour assurer la sécurité sanitaire du consommateur.

### **1.2.2 Caractérisations**

En effet, bien que les Directives de l'OMS définissent une qualité de l'eau, telle que la consommation d'une eau de qualité sur la durée d'une vie soit acceptable, cela ne signifie pas qu'il soit permis de laisser la qualité de l'eau se dégrader jusqu'au niveau minimal recommandé. Au contraire, un effort permanent est nécessaire pour maintenir cette qualité au plus haut niveau possible. Il importe d'affecter les ressources destinées à améliorer la salubrité de l'eau en visant des améliorations progressives en direction d'objectifs à long terme. Il est possible de lier les priorités fixées pour remédier aux problèmes les plus urgents (la protection contre les agents pathogènes) à des objectifs à plus long terme, prévoyant une amélioration plus poussée de la qualité de l'eau (par exemple une meilleure acceptabilité de l'eau de boisson). Les exigences fondamentales et essentielles destinées à garantir l'hygiène de l'eau de boisson constituent un « cadre », qui comprend des objectifs d'ordre sanitaire et établis par une autorité compétente dans le domaine de la santé, des systèmes adaptés et convenablement gérés (infrastructures appropriées, surveillance consciencieuse, planification et gestion efficaces) ainsi qu'un système de surveillance indépendant. L'application d'une

approche holistique dans l'évaluation et la gestion des risques menaçant les approvisionnements en eau de boisson conduit à une plus grande confiance dans la salubrité de cette eau. Cette approche suppose une évaluation systématique des risques associés à l'ensemble des aspects d'un approvisionnement en eau de boisson, depuis le captage, le puisage, le transport, le stockage jusqu'à la consommation, et l'identification des moyens permettant de gérer ces risques, notamment les méthodes destinées à garantir l'efficacité des mesures de contrôle. Elle intègre des stratégies pour assurer la gestion au quotidien de la qualité de l'eau, y compris les écarts et les défaillances. Les directives de l'OMS se rapportent aux réseaux d'adduction d'eau de boisson par canalisation des grandes métropoles et des petites collectivités ainsi qu'à ceux de boisson non canalisés des collectivités et des habitations individuelles. Les directives de l'OMS s'appliquent aussi à diverses situations spécifiques, dont les grands bâtiments, les voyageurs et les moyens de transport. La grande majorité des problèmes de santé manifestement liés à l'eau résultent d'une contamination microbienne (bactéries, virus, protozoaires ou autres). C'est pourquoi toute eau de boisson doit répondre non seulement aux aspects bactériologiques mais aussi aux aspects chimiques, radiologiques, elle doit être exempte de goût et d'odeur qui seraient inacceptables pour les consommateurs.

### **1.2.3. Ressources en eau souterraine : aquifères et nappes**

Parmi les ressources en eau souterraine du bassin, on distingue les aquifères et les nappes. Celles-ci sont fonction de la géologie du secteur d'étude.

#### ***1.2.3.1 Les aquifères***

Les formations géologiques, sédimentaires pour l'essentiel, qui composent les différents systèmes aquifères ont des caractéristiques très variées. Deux principales catégories de réservoir d'eau souterraine sont à distinguer à savoir :

- les aquifères homogènes, à perméabilité d'interstices, constitués de sable, graviers, grès, etc. Les vitesses d'écoulement y sont, en général, lentes ;
- les aquifères hétérogènes, à perméabilité de fissures, sont surtout constitués de calcaire mais également de roches volcaniques, granitiques. Dans les massifs calcaires, les fissures sont souvent ouvertes (aquifères de type karstique), et constituent de véritables conduits souterrains dans lesquels la vitesse de circulation des eaux peut être très rapide.

- Enfin un aquifère peut être "monocouche", c'est-à-dire composé d'une seule formation géologique, ou "multicouche", c'est-à-dire constitué par une superposition de plusieurs formations géologiques de nature et perméabilité différentes qui communiquent entre elles.

### **1.2.3.2. Les types de nappes et caractéristiques hydrologiques**

On distingue également deux types de nappes: libres (ou phréatiques) et captives (ou artésiennes), plus ou moins profondes, elles sont "piégées" sous des formations géologiques imperméables.

#### **1.2.3.2.1. Porosité efficace et coefficient d'emmagasinement**

La porosité efficace est le rapport du volume d'eau gravitaire libéré, par égouttage d'un échantillon au laboratoire sur le volume total.

$$\text{Porosité efficace } P = VG/VT$$

Le coefficient d'emmagasinement ou porosité efficace pour les nappes libres, exprimant le rapport du volume d'eau libéré ou emmagasiné, par unité de surface de l'aquifère (VG) à la variation de la charge hydraulique correspondante (VT). Il est mesuré sur le terrain, principalement par des pompages d'essai. Ce coefficient d'emmagasinement varie de 0,2 à 0,01 pour les nappes libres et de 0,001 à 0,0001 pour les nappes captives.

#### **1.2. 3.2.2. Paramètres hydrodynamiques**

Le fonctionnement hydrodynamique est une interaction entre les différents réseaux hydriques du bassin versant.

Les eaux souterraines sont potentiellement drainées par le réseau hydrographique. La zone d'étude est caractérisée par l'alternance d'une saison pluvieuse, d'avril à octobre et d'une saison sèche de novembre à mars. La température moyenne annuelle est de 26 °C.

Une analyse plus fine des différents profils d'altération rattachés à la lithologie du socle met en évidence que les épaisseurs d'altérites sont généralement plus développées sur le socle migmatique de la zone axiale, que sur l'ensemble des gneiss recouvrant le reste du bassin. Leurs épaisseurs sont de l'ordre de 15 à 20 m en moyenne sur l'ensemble du bassin et les résistivités apparentes sont de 400-450 Ohm.m. L'altérite sous jacente semble de nature variable et probablement entièrement saturée.

La teneur en eau à saturation sous forêt est bien supérieure (32.28 %) à celle en savane (31.1%) et aussi sous jachère (28.4 %). L'évolution des courbes caractéristiques de rétention

d'eau et des courbes de conductivité hydraulique montre l'influence de la quantité et de la nature des particules fines. Puisque les sondages électriques ont montré que les résistivités apparentes des latérites sont supérieures à celles des altérites, une faible épaisseur de ces dernières serait donc compensée par un horizon argileux à la base avec des résistivités encore plus faibles. La carte des résistivités traduirait donc, celles apparentes de l'horizon argileux probablement saturé.

L'expression générale de la loi de Darcy s'écrit:

$$Q(\text{m}^3/\text{s}) = K(\text{m/s}).A(\text{m}^2). h/l$$

La quantité d'eau transitant dans ce milieu est proportionnelle à la section totale traversée **A**, au coefficient de perméabilité **K** du milieu et à la charge hydraulique **h** et inversement proportionnelle à la longueur **l** du milieu traversé:

**h/l** est la perte de charge par unité de longueur, appelée encore gradient hydraulique **i** :

$$Q = K. A. i$$

La vitesse de filtration **V** est égale au rapport de la quantité d'eau passant en une seconde sur la surface **A**. C'est également le produit du coefficient de perméabilité par le gradient hydraulique:

$$V(\text{m/s}) = Q/A = K.h/l$$

#### **1.2.3.2.3. Perméabilité**

La perméabilité est l'aptitude d'un réservoir à se laisser traverser par l'eau sous l'effet d'un gradient hydraulique. Elle exprime la résistance du milieu à l'écoulement de l'eau qui le traverse.

#### **1.2.3.2.4 Transmissivité**

La transmissivité permet de représenter sur des cartes, les zones de productivité. Elle est mesurée, sur le terrain, par les essais de pompages d'eau.

La formule de la transmissivité est :

$$T \text{ (m}^2/\text{s)} = k(\text{mls}) \times b(\text{m})$$

L'expression de la loi de Darcy (1856) cité par Boukari (1998):

$$Q=K.A.i, \text{ devient avec } A=b.L$$

$$Q \text{ (m}^3/\text{s)} = T \text{ (m}^2/\text{s)}. L(\text{m}): (L : \text{largeur d'un aquifère})$$

### 1.2.3.2.5 Vitesses d'écoulement

L'écoulement des eaux souterraines peut être considéré comme le déplacement de particules d'eau, dans l'espace et dans le temps, le long des trajectoires appelées lignes de courant. Deux méthodes de détermination des vitesses d'écoulements sont utilisées: application de la loi de Darcy (1856), avec une correction introduisant la porosité efficace, calculant la vitesse effective, notée  $V_e$  (mis) :  $Ki$ . Les opérations de traçage, sur le terrain, mesurant la vitesse réelle de déplacement des eaux souterraines.

### 1.2.3.2.6 Sensibilité et mécanismes de pollution des nappes

En ce qui concerne les phénomènes de pollution, la notion fondamentale à considérer est celle de la vulnérabilité des aquifères.

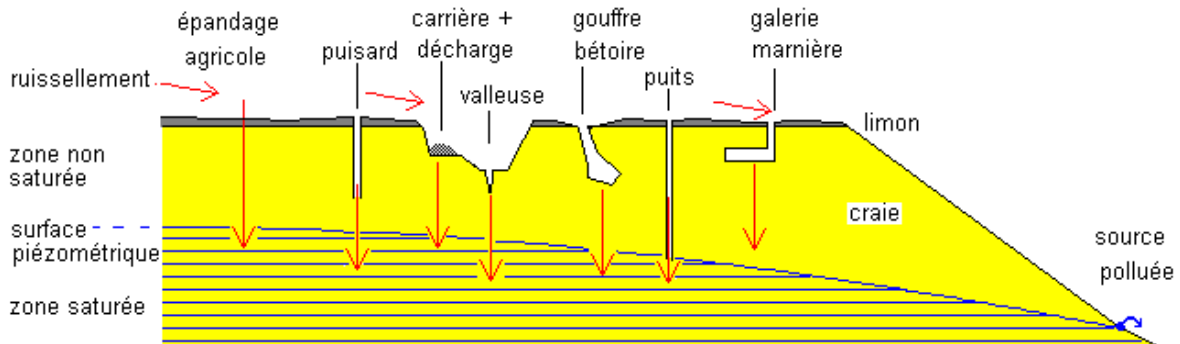


Figure 1: Schéma d'un aquifère montrant ses différentes zones

#### 1.2.3.2.6.1 Caractéristiques d'une nappe libre

Ces aquifères sont très proches de la surface du sol, non protégés par des formations imperméables susceptibles d'intercepter les éventuelles pollutions. On dit alors qu'ils sont très vulnérables. Une pollution se produisant à la surface du sol peut s'infiltrer jusqu'à la surface



de la nappe, on distingue une zone non saturée comprise entre le sol et la surface de la nappe. De nature très diverse suivant le type de roches concernées et d'épaisseur variable (de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres), elle conditionne en grande partie les temps de transfert vers la nappe (de quelques jours à plusieurs années). Suivant que la roche est à perméabilité d'interstices (sables, grès) ou de fissures (calcaire), les circulations seront plus ou moins rapides. Dans le milieu non saturé, les transferts se font sous l'influence d'une composante verticale. Une zone saturée qui constitue l'aquifère. Dans cette zone, les transferts sont essentiellement latéraux (composante horizontale) selon la direction générale d'écoulement de la nappe.

#### ***1.2.3.2.6. 2 Caractéristique d'une nappe captive***

Ces aquifères sont profonds, recouverts par d'autres terrains à faible perméabilité, et contiennent de l'eau sous pression, ce qui se traduit par une remontée de l'eau dans les forages au dessus du niveau où l'on rencontre la nappe. De tels aquifères sont très peu vulnérables à la pollution, l'eau en est bien protégée et pourra être d'une qualité irréprochable. La pollution ne peut provenir que d'injections volontaires de déchets liquides par des forages, ou de mise en communication de nappe par des ouvrages non étanches (ex. : forages profonds d'eau).

#### ***1.2.3.2.6.3 Particularité d'un aquifère fissuré***

Ce sont les aquifères généralement les plus vulnérables que ceux poreux. La pollution est introduite par l'intermédiaire de la zone non saturée à travers les bétoines et les puits. Il résulte de cela qu'il est extrêmement préjudiciable à la qualité des eaux souterraines, lorsqu'un aquifère jouit d'une bonne protection naturelle, de diminuer quoi que ce soit de cette protection. Les puits perdus, par exemple, qui traversent une couverture peu perméable et favorisent l'introduction directe dans la nappe de produits polluants. Il est également évident que, plus un aquifère sera vulnérable, et plus il faudra veiller à le préserver des sources de pollution. On devra toujours garder à l'esprit qu'une nappe, une fois polluée, risque de l'être pendant très longtemps et parfois de façon irréversible. Cela vient de ce que l'écoulement naturel des eaux souterraines (il n'existe pas de nappe stagnante) est beaucoup plus lent que celui des eaux de surface. Les vitesses de circulation des eaux souterraines sont très variées, mais il n'est pas rare que l'eau d'une nappe se déplace en un an de la même distance que l'eau d'une rivière en un jour.

La sensibilité et la vulnérabilité des nappes et aquifères à la contamination d'origines diverses dépendent des pressions que les actions anthropiques exercent sur eux. L'une de ces actions qui influencent la qualité des eaux souterraines est l'agriculture, en particulier la culture du coton qui nécessite l'utilisation de plusieurs produits polluants

#### **1.2.4. Cotonculture : contraintes et risques associés**

L'importance économique et sociale de la culture du coton en Afrique en général et au Bénin en particulier, est liée aux revenus des producteurs et les usages qu'ils font au quotidien de ces profits (Hussein, *et al.*, 2005 ; Afro, 2011).

En dépit de son rôle capital dans le développement économique et social d'un pays (Hodonou, 2010), la culture du coton présente des écueils non moins importants mais induit également des risques y afférents.

##### *1.2.4.1. Importance de la culture du coton au Bénin*

Le coton est la principale culture de fibre dans le monde où environ 25 millions de tonnes de coton fibre sont produits annuellement (Hussein *et al.*, 2005). Les plus grands producteurs sont la Chine, les Etats Unis, l'Inde, suivis du Pakistan, l'Ouzbékistan, et le Brésil (Baffes, 2005). La FAO (2004) citée par Baffes (2005), estime que près de 100 millions de familles rurales dépendent directement de la production de coton dont plus de 6 millions de foyers ruraux africains.

Le coton, pour de nombreux pays en Afrique de l'Ouest, est le moteur du développement économique (par exemple Burkina Faso, Mali, Bénin, Sénégal). Dans cette région, 56 % du produit national brut (PNB) ressort de la production cotonnière.

En fait, la filière coton constitue la base de l'économie au Bénin (Hodonou, 2010). Sa contribution, en termes de valeur ajoutée, est estimée à 13 % du PIB. C'est la principale culture d'exportation qui contribue au développement socioéconomique du Bénin. Elle représente 64 % des recettes d'exportation, 90 % des recettes agricoles, 35 % des rentrées fiscales (hors douanes) et 24% des recettes de l'Etat (MDR, 1993). La production du coton a connu une très forte croissance au Bénin, passant de 89.000 tonnes de coton-graine en 1985/86 à 340.000 tonnes en 1996/97, soit une augmentation de 35 % par an en moyenne sur 11 ans. Après, elle a continué à croître vers 400.000 tonnes de coton-graine en 2001/02 et en 2003/04, mais à un taux de croissance très modeste de 2,5 % par an en moyenne. Certes, depuis, la production fluctue, cependant le Bénin est toujours compté parmi les meilleurs

producteurs du coton en Afrique. Le Bénin compte plusieurs zones agro-écologiques dont les limites varient en fonction des critères de zonage. Sur la base des ensembles agro-climatiques, pédologiques et phytosanitaires, on distingue grosso modo deux zones de production cotonnière : La zone Nord (Atacora, Donga, Alibori, Borgou) et la zone Centre (Collines, Zou, Mono, Couffo, Ouémé). En ce qui concerne l'apport du coton dans la formation du revenu agricole, le coton est de loin la culture de rente la plus importante au Bénin. Il procure aux producteurs agricoles de la zone Nord du Bénin environ deux-tiers à trois-quart de leurs revenus monétaires. La motivation paysanne pour cultiver le coton se base sur les revenus que l'on peut y tirer. Le coton n'est pas la culture la plus rentable mais elle permet aux producteurs de disposer d'un revenu monétaire en gros.

#### *1.2.4.2 Usages des produits phytosanitaires et risques pour la santé*

La culture de coton présente de sérieux risques environnementaux dus à l'utilisation élevée de pesticides et d'engrais chimiques. En effet, le coton n'occupe mondialement que 2,4 % des surfaces cultivées, mais consomme 16 % des insecticides de la planète, ce qui crée un grand danger pour la santé humaine et pour les écosystèmes (Ramade, 1992). Malgré le manque de législation adaptée à la gestion des pesticides généralement décrié dans les pays en voie de développement (Ecobichon, 2001), le Bénin est l'un des pays d'Afrique subsaharienne qui, à défaut de lois spécifiques, participe au Comité Phytopharmaceutique des pays de la zone Afrique occidentale Afrique centrale CPH/AOC (Abiola, 1999) basé à Abidjan, qui s'est doté de textes réglementaires pour exclure ou limiter l'emploi de pesticides particulièrement dangereux (Orou, 1998 ; Osler et *al.*, 2001 ; PAN AFRICA, 1999). Cependant, la pression parasitaire sur le cotonnier et le développement rapide des résistances de certains ravageurs comme *Helicoverpa armigera* contraignent encore à un usage important de produits classés modérément ou hautement dangereux (OMS, 2003).

En 1998, 378796 hectares ont ainsi été emblavés avec usage de 1 762 670 hectolitres de produits insecticides en concentrés émulsifiables (Osler et *al.*, 2001). Les principales matières actives utilisées dans ce pays durant les dernières années sont des organophosphorés ou carbamates (triazophos, métamidophos, chlorpyrifos éthyle, profénophos, diméthoate, benfuracarbe), des pyréthrinoïdes (deltaméthrine, perméthrine, bifenthrine, lambda cyhalothrine, cyfluthrine, fenvalérate, esfenvalérate) et un apparenté aux organochlorés, l'endosulfan (Osler et *al.*, 2001). Certains de ces pesticides sont réputés très toxiques (T+) ou

toxiques (T) et néfastes à long terme pour l'environnement (INRA, 2002). Parmi ces derniers, certains ont fait un retour remarquable ces trois dernières années en raison des besoins urgents pour le contrôle des ravageurs, sur le principal critère de leur efficacité: c'est le cas de l'endosulfan, sans respect des procédures d'homologation (Abiola, 2000). Le niveau de consommation de pesticides rythme avec l'augmentation de la production. Ainsi, au plan national, la consommation de pesticides est passée de 1.972.764 L en 1993 à 2.314.127 L en l'an 2000 soit une augmentation de 17,30 % en huit (8) ans.

L'utilisation des pesticides en agriculture, précisément dans les zones de production cotonnière compromet la sécurité alimentaire et présente des risques sérieux aussi bien pour l'Homme que pour l'environnement. En effet, selon l'étude réalisée par l'ONG béninoise OBEPAB au cours de la campagne 1999/2000, l'on a enregistré 147 cas d'intoxication dont 10 décès. Pour la même campagne, le CARDER-Borgou a rapporté 73 cas d'intoxications humaines et 37 cas de décès dans le département du Borgou. Ces drames ne sont que l'expression des incidents qui se produisent depuis des années et qui ne font pas l'objet d'une documentation.

L'utilisation excessive de fertilisants et pesticides a également pour conséquence la dégradation des sols, la baisse des rendements, des résistances des ravageurs aux pesticides ainsi qu'une réduction considérable des revenus des producteurs de coton. Des intoxications humaines aiguës (70 morts par an) liées à la manipulation des produits sont régulièrement rapportées (MDR/République du Bénin, 1993).

En effet, les pesticides présentent des risques pour les micro-organismes du sol, la qualité des cultures vivrières adjacentes (Biaou *et al.*, 2003) et les eaux de surface et souterraines (DIREN, 2003). Les conséquences immédiates sont une atteinte de la santé humaine (Jager-Mischke, 1993 ; Toe *et al.*, 2004) et une dégradation de l'environnement. Les atteintes sanitaires se traduisent par des maladies diverses causées par le contact avec des pesticides et par la consommation de produits alimentaires, eau de boisson, poissons, viandes, légumes, fruits contaminés (Jager-Mischke, 1993 ; Nebie *et al.*, 2002 ; Cisse *et al.*, 2003 ; Miquel, 2003 ; Soclo *et al.*, 2005 ; Tapsoba et Bonzi-Coulibaly, 2006).

Pour leur part, les métaux toxiques sont liés aux activités anthropiques, en particulier la mauvaise gestion des ordures ménagères et à l'usage des produits phytosanitaires. Les

pesticides, en l'occurrence les fongicides, contiennent des métaux lourds (Deluisa et al. 1996 ; Bourrelier et Berthelin, 1998 ; Casas, 2005 ; Perrin, 2007). L'ampleur de la dispersion que prennent ces éléments traces dans l'environnement béninois devient de plus en plus inquiétante. En effet, au Bénin, plusieurs travaux de recherche ont révélé la présence à fortes doses de métaux toxiques dans des denrées alimentaires de première nécessité : les escargots géants de l'Okpara (Edorh *et al.*, 2009), les sédiments et l'eau du lac Nokoué (Yéhouenou 2004, Guédénon, 2009, Dovonou, 2009 ; Hounkpatin, 2010 ; Edorh *et al.*, 2010). Par ailleurs, Adam *et al.* (2009) ont retrouvé des résidus de pesticides et du plomb dans l'eau de pompe de Banikoara. Or certains métaux toxiques, au-delà des éléments chimiques usuels de potabilité, sont particulièrement très dangereux pour le système immunitaire, la peau, l'appareil circulatoire (Testud, 2005), le système nerveux central, le foie et les reins (Viala et Grimaldi, 2005).

Face à l'ampleur des risques relatifs aux pesticides et aux métaux toxiques susceptibles de se retrouver dans l'eau destinée à la consommation, il est important de faire la toxicologie de ces xénobiotiques dont l'éventuelle présence dans la chaîne alimentaire ne sécurise pas ce premier aliment indispensable à l'Homme.

### **1.2.5. Caractères généraux des métaux lourds et des pesticides : les concepts de base**

La révolution industrielle survenue au XIX<sup>ème</sup> siècle a engendré des perturbations énormes dans la société humaine, qui demeurait jusqu'alors à dominance agraire (Perrin, 2007). Toutefois, l'ampleur des activités anthropiques (notamment industrielles et agricoles) dans le monde n'a pas pris immédiatement en compte la dimension environnementale. Dès lors, de nombreuses substances aux propriétés méconnues ont ainsi été rejetées, parfois en très grande quantité, dans l'eau, l'air ou les sols (Miquel, 2001 ; Miquel, 2003). Certaines d'entre elles, comme les métaux lourds ou les pesticides ont malheureusement révélé leur potentiel toxique à l'occasion d'épisodes historiques de pollution.

Il s'agit donc dans cette étude de présenter les traits généraux des métaux et des pesticides en se fondant sur la littérature existante.

### **1.2.5.1. Métaux lourds**

Il est abordé dans cette rubrique, la définition, les origines, les voies de contamination ainsi que les effets sur l'environnement et la santé humaine.

#### **1.2.5.1.1. Définition**

Les métaux sont, à l'origine, des substances naturelles que l'on trouve sous forme de minerais dans le sol, où ils sont déposés par l'activité volcanique. L'augmentation de ces métaux dans l'environnement est due essentiellement à l'activité industrielle. Les métaux ne peuvent pas évoluer vers des composés moins nocifs, car ils ne sont pas biodégradables mais s'accumulent dans l'organisme des vivants. Le terme « métaux lourds » rassemble les éléments dont la densité dépasse  $5\text{g/cm}^3$  (Bloundi, 2005).

Certains de ces éléments sont d'usages courant mais provoquent des maladies (allergie, cancer...) au-delà d'une concentration donnée pour laquelle ils ne sont pas biodégradables et bioaccumulent dans l'organisme. Dès lors, on les appelle « métaux toxiques ». Ce sont : Arsenic (As), cadmium (Cd), chrome (Cr), Cobalt(Co), Cuivre (Cu), Fer (Fe), Manganèse(Mn), Molybdène (Mo), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Selenium (Se), Silicium (Si), Etain (Sn), Vanadium (Vn) et Zinc (Zn). D'autres non essentiels n'ont, à l'inverse des précédents, aucun rôle biologique actuellement connu : ce sont dans un sens plus restreint ceux qu'on appelle « métaux lourds ». C'est le cas du mercure(Hg), Cd et Pb (Mason et Jenkins, 1995). Ils sont, par excellence les « métaux toxiques » et considérés comme néfastes dès qu'ils sont présents dans le milieu car ils entraînent des effets biologiques délétères, même à de très faibles concentrations. Les métaux toxiques qui entrent dans l'environnement proviennent de sources naturelles et de sources anthropogènes. Ils ont un fort impact toxicologique et des impacts sur les végétaux, les sols, les produits de consommation courante et sur l'Homme.

#### **1.2.5.1.2. Origines**

Compte tenu du fort degré de toxicité de ces métaux, il importe d'en connaître la source et de savoir ce qu'ils deviennent dans l'environnement. Les métaux toxiques qui entrent dans l'environnement proviennent de sources naturelles et de sources anthropogènes. Leur entrée peut être le résultat soit de déversements effectués directement dans les eaux douces, soit d'un cheminement indirect comme dans le cas des décharges sèches et humides et du ruissellement

agricole. Il est clair que les bassins hydrographiques ne sont pas épargnés, ce qui, indubitablement, peut affecter les eaux transfrontalières.

Parmi les importantes sources naturelles, il peut être cité l'activité volcanique, l'altération des continents et les incendies de forêts et de matières organiques (Benedetti *et al.*, 1992, Miquel, 2001). La contribution des volcans peut se présenter sous forme d'émissions volumineuses mais sporadiques dues à une activité explosive, ou d'émissions continues de faible volume, résultant notamment de l'activité géothermique et du dégazage du magma (Zoller, 1984). Les principales sources de mercure atmosphérique, par exemple, proviennent du dégazage des terres et des océans (GESAMP, 1988).

Les sources anthropogènes sont les suivants: les effluents d'extractions minières ; effluents industriels ; les effluents domestiques et ruissellements orageux urbains; le lessivage de métaux provenant de décharges d'ordures ménagères et de résidus solides; les apports de métaux provenant de zones agricoles ou rurales; les sources atmosphériques (combustion de carburants fossiles); le tabagisme (Agbandji (2009) ; l'incinération des déchets ; les émissions industrielles et les activités pétrochimiques.

**Tableau II: Sources anthropiques des métaux lourds et métalloïdes**

<b>Origines</b>	<b>Utilisations</b>	<b>Métaux</b>
Industries	Combustion de charbon et activités minières	As, Hg, Mo, Se...
	Fonderies	Pb, Cu, Ni, Zn, Cd, Mn, Cr
	Cimenteries	Ta, Cr, Pb
	Traitement de surface (cadmiage, zingage, galvanisation...)	Cd, Zn, Cr, Sn, Ni, Al
	Traitement du bois	Cu, Cr
	Pigments pour peintures et encres	Cd, Pb, Zn, Cr, Ti, Hg, Mn, Cu
	Carburants et imbrûlés	
Agriculture	Tanneries	Cr, Fe, Al(aluminium)
	Engrais	Sr, Ba, Mn, Fe, Zn, Cd,
	Eleavage	Cu, Zn, Mn
Transports	Produits phytosanitaires	Cu, Sn, As, Hg, Pb
	Huiles de carter et usure des pneus	Pb, Cd, Hg
Déchets ménagers	Métaux de toitures emportés par la pluie	Pb, Zn, Cu
Tabagisme	Batteries et accumulateurs divers,	Cd, Hg, Mn, Pb, Ni, Zn
	Appareils électriques	
	Jet de mégots de cigarettes	As, Pb, Cu, Ni, Cd, Hg, Cr, Po <sup>210</sup> (polonium)

Globalement, les activités industrielles constituent les sources importantes d'émission de métaux lourds. Relativement au tabagisme, il convient de souligner que c'est lorsque que le

tabac est brûlé qu'il constitue une véritable "usine chimique" de substance nocive dont les métaux lourds (INPES, 2002 ; Abrous, *et al.*, 2003 ; Agbandji, 2009).

### **1.2.5.1.3. Voies de contamination de l'Homme**

A la différence d'autres polluants comme les hydrocarbures et les ordures ménagères et municipales qui peuvent s'accumuler au vu et au su de tout dans l'environnement, les métaux en traces peuvent s'accumuler et atteindre des niveaux toxiques sans qu'on les remarque. Mais, les conséquences de l'omniprésence des métaux lourds seraient moindres si elles n'étaient pas associées à un risque direct de contamination pour l'Homme. De manière instinctive, l'Homme qui peut se trouver à tous les échelons du cycle de répartition des métaux lourds dans l'environnement, va en absorber par différentes voies et en devenir lui-même un réservoir avec des conséquences sur sa santé. Les polluants peuvent atteindre l'Homme par passage à travers la peau, l'inhalation ou l'ingestion (Miquel, 2001).

#### ***1.2.5.1.3.1 Absorption par voie respiratoire***

Beaucoup de métaux lourds se trouvent dans l'air sous une forme inhalable par l'Homme et peuvent être à l'origine d'une contamination par la voie respiratoire. Par inhalation, les vapeurs du Plomb tétraéthyle (PTE) et Plomb Tetrtamethyle (PTM) de l'essence par exemple, peuvent se dissoudre dans les muqueuses du système respiratoire et arriver dans la circulation sanguine par l'intermédiaire des alvéoles pulmonaires. Présents dans la circulation sanguine, les métaux peuvent alors atteindre tous les organes, ce qui fait de la voie respiratoire une voie de contamination par excellence (Di Benedetto *et al.*, 1997). A ce titre, les travaux réalisés par Agbandji (2009), reste une preuve patente de la contamination de l'organisme et du fœtus par les métaux toxiques, en ce qui concerne notamment le tabagisme.

#### ***1.2.5.1.3.2 Absorption par voie orale : contamination de la chaîne alimentaire***

Les métaux lourds contenus dans notre environnement (eau, air, sols) peuvent, par des cycles parfois complexes, se retrouver dans un maillon végétal ou animal de notre chaîne alimentaire, entraînant ainsi une contamination de l'Homme par voie orale (Di Benedetto *et al.*, 1997, Perrin, 2007 ; Edoth *et al.*, 2009 ; Guédénon, 2009 ; Koumolou, 2009, Hounkpatin, 2010). Toutefois, un simple passage passif dans la chaîne alimentaire aurait un impact limité, sans l'implication d'autres facteurs particuliers aux métaux lourds.



#### 1.2.5.1.3.2.1. La biodisponibilité

La biodisponibilité, selon Thornton *et al.* (2001) et Kélomè (2007), est la portion d'élément dans le biotope qui est disponible pour un organisme donné. Pour Ablain (2002), la biodisponibilité est l'aptitude d'un élément trace à être transféré du biotope par exemple d'un sol à une plante qui y pousse. La fraction de métal biodisponible dans un sol n'est pas la même selon que l'on s'intéresse à une bactérie, une plante ou un ver de terre. La biodisponibilité est donc relative à l'organisme considéré, mais également à son stade de développement, et à d'autres paramètres externes (Lebourg *et al.*, 1996). Par ailleurs, il est admis que la mobilité et la biodisponibilité d'un élément dépendent de sa spéciation (Brümmer *et al.*, 1986). Les métaux formant des chloro-complexes sont moins biodisponibles que les ions libres (Förstner et Whitmann, 1979 ; Ettajani, 1994).

#### 1.2.5.1.3.2.2 La bioaccumulation et la sécurité alimentaire

##### ➤ *Définitions*

Les métaux lourds contenus dans notre environnement (eau, air, sols) peuvent, par des cycles parfois complexes, se retrouver dans une étape végétale ou animale de notre chaîne alimentaire et entraîner une contamination de l'Homme par voie orale. Toutefois, un simple passage passif dans notre chaîne alimentaire aurait un impact limité, s'il n'y avait pas l'existence d'un phénomène très particulier pour les métaux lourds qu'est la bioaccumulation. Selon Van Hook (1974), il y a bioaccumulation lorsque le rapport de concentration de métal dans les tissus de la plante ou de l'animal sur la concentration du métal dans le sol ou le biotope est supérieur à 1. Autrement dit, c'est donc un phénomène, existant pour les métaux lourds mais également pour d'autres composés chimiques, et qui a pour conséquence une concentration en polluant dans un organisme vivant supérieure à la concentration de ce polluant dans le biotope de l'organisme (Di Benedetto *et al.*, 1997). C'est la bioaccumulation qui se transmet tout au long de la chaîne alimentaire qui explique que l'Homme puisse être exposé à des quantités dangereuses de métaux lourds par son alimentation. Elle est constatée chez les végétaux et les animaux. Pour tous les métaux lourds, il est possible de trouver une plante ou un animal appartenant à la chaîne alimentaire de l'Homme qui sert d'accumulateur vivant de métaux lourds. A l'inverse, il existe très peu d'espèces capables de détoxifier ou d'éliminer efficacement ces métaux lourds de la chaîne alimentaire (Di Benedetto *et al.*, 1997).

Par conséquent, lorsqu'un bioaccumulateur de métaux lourds apparaît dans la chaîne, ses effets sur la teneur finale des aliments se poursuivent jusqu'à l'Homme. C'est à partir de là que Ramade (1992), désigna la bioaccumulation chez l'Homme comme étant la somme des absorptions d'un élément par voie directe et alimentaire. Mais cette définition ne prend pas en compte les processus d'élimination. Alors on admet que la bioaccumulation est la résultante des mécanismes par lesquels le contaminant entre dans l'organisme et est rejeté vers l'environnement par excrétion ou par biotransformation endogène (Neff, 2002). On distinguera dès lors la bioconcentration qui est un cas particulier de bioaccumulation. Elle est définie comme le processus par lequel le métal se trouve présent dans l'organisme vivant à une concentration supérieure à celle de son milieu environnant (Di Benedetto *et al.*, 1997). Le facteur de concentration (FBC) peut être défini comme une constante issue du rapport de la concentration d'un élément dans un organisme en état d'équilibre à sa concentration dans le biotope (Ramade, 1992).

#### ➤ **Bioamplification**

La bioamplification est le processus par lequel le prédateur concentre une substance à un niveau supérieur à celui où il se trouve dans la proie (Di Benedetto *et al.*, 1997). Consommer alors des denrées agricoles ou animales contaminées en métaux lourds multiplie chez l'Homme les risques de toxicité. Indirectement, ce risque peut être amplifié par la consommation des produits tels que les escargots (Gomot, 1997), les animaux domestiques (Casas, 2005). Pour Ramade (1992), la rémanence d'un contaminant associé à des transferts cumulatifs « proies contaminées - prédateurs » est à l'origine de ce processus. Mais, cette amplification, si elle a été quasi-unanimement reconnue par les scientifiques pour la forme méthylée du mercure (Fowler, 1982), plus particulièrement pour les dérivés organiques, elle est très discutée pour les autres métaux lourds, voire contestée. Au contraire, une dilution entre les échelons primaires et secondaires a été montrée à plusieurs reprises (Casas, 2005).

On comprend maintenant comment peut survenir la toxicité chez l'Homme (qui devient lui-même un bio-accumulateur) à partir de l'exposition aux métaux toxiques par la consommation de denrées alimentaires contaminées telle que l'eau de boisson.

Mais comment se fait l'atteinte à la santé ?

#### 1.2.5.1.4. Mécanisme d'action des métaux lourds et dangerosité

Certes, les métaux lourds (Pb, Cd, As...) sont toxiques. Les intoxications aux métaux lourds agissent le plus souvent de façon lente et insidieuse (Edorh A.P. 2007); elles éclatent rarement en crises aiguës. Elles se manifestent par des symptômes de tout genre. Toutefois, dans le domaine de la santé, leur pouvoir destructeur est généralement sous-estimé. La figure 2 montre le mécanisme d'action des xénobiotiques.

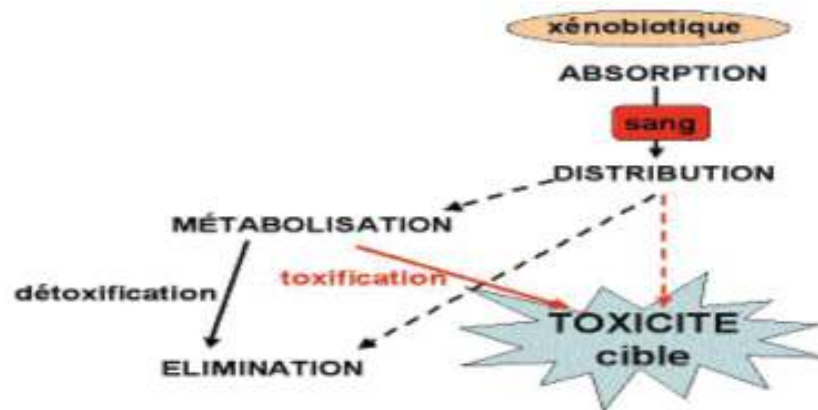


Figure 2: Mécanisme d'action des xénobiotiques

Au fait, les métaux lourds sont dangereux pour un certain nombre de raisons :

- les métaux lourds catalysent les réactions oxydatives et encouragent ainsi la production de radicaux libres ;
- ils refoulent les minéraux (par exemple le zinc et le magnésium) et les éléments à l'état de traces des sites de fixation enzymatique, ce qui provoque un blocage du métabolisme ;
- une exposition chronique aux métaux lourds peut modifier les structures des protéines et, par voie de conséquence, aussi les anticorps du système immunitaire ;
- les structures des lipides présents au sein de chaque cellule peuvent subir une altération, ce qui a pour effet de perturber le flux d'entrée et de sortie des éléments nutritifs.

De plus, ces toxiques de si petite taille sont le plus souvent trop hydrophobes et de ce fait doivent d'abord être métabolisés avant d'être éliminés par les voies biliaire et urinaire. Mais lors de ce métabolisme des xénobiotiques, peuvent se former de métabolites électrophiles ou de radicaux libres qui peuvent se fixer sur des protéines, des lipides et des acides nucléiques et ainsi les modifier. Il s'en suit une apparition de lésions cellulaires ou génétiques. Par ailleurs, ce métabolisme peut aussi entraîner la formation d'espèces réactives de l'oxygène (ERO). Ces phénomènes sont favorables à l'installation d'un stress oxydant susceptible d'induire des

lésions tissulaires. Certaines espèces réactives de l'oxygène formées sont particulièrement réactives ; c'est le cas du radical hydroxyle OH qui est responsable de la plupart des lésions génotoxiques produites par un stress oxydant. Il peut causer plus de cent types de dommages : des oxydations de bases et de sucres et des fixations de protéines sur l'ADN (Cadet et coll., 1997). Les métaux lourds favorisent donc le stress oxydatif cellulaire en diminuant la protection antiradicalaire des cellules, ce qui occasionne de nombreuses pathologies liées aux radicaux libres.

#### **1.2.5.1.5. Effets des métaux lourds sur la santé humaine**

Chez l'Homme, les métaux lourds absorbés s'accumulent spécifiquement dans différents organes (les reins, le foie et même le cerveau) et provoquent des troubles divers et variés propres à chaque métal.

##### ***1.2.5.1.5.1. Le cadmium***

Le Cadmium fut isolé pour la première fois par le chimiste allemand Friedrich Stromeyer en 1817 en étudiant les propriétés du Zinc (Perrin, 2007). De sources naturelle et anthropique, ce métal présente des caractéristiques toxiques avérées.

##### **1.2.5.1.5.1.1 Toxicocinétique**

Des expériences menées sur des volontaires ont permis de mieux connaître les modalités d'absorption du cadmium par la voie orale. Le taux d'absorption varie de 3 à 6 % chez les personnes testées tandis qu'il est de l'ordre de 0,5 à 3 % chez les animaux (ATSDR 1999). Ce taux est augmenté dans le cas de régimes alimentaires riches en graisse ou lors de carences en fer, en calcium, en vitamine D ou en protéines. Les niveaux de ces éléments varient selon l'âge et l'état physiologique des individus : les femmes absorbent par exemple plus de cadmium pendant leur période fertile car elles sont plus facilement sujettes à des carences en fer (Piscator, 1985). Concernant l'inhalation, seules les petites particules de cadmium, c'est-à-dire d'un diamètre d'environ 0,1  $\mu\text{m}$  (comme celles contenues dans les cigarettes), atteignent les alvéoles et sont absorbées. Le cadmium pénètre ensuite dans la circulation systémique et est transporté dans les hématies, lié à des protéines appelées métallothionéines. Sa distribution s'effectue principalement en direction du foie et des reins qui accumulent 50 à 70 % du cadmium absorbé est contenu dans ces deux organes (INERIS, 2005). On note aussi une accumulation secondaire dans le pancréas, les glandes salivaires ou le système nerveux

central. Il n'y a pas de passage transplacentaire, les enfants naissent avec un niveau de cadmium proche de zéro. Après une exposition courte, le foie et les reins présentent des concentrations équivalentes de toxique mais lors d'expositions plus prolongées, celle des reins est plus importante que celle du foie. Seule une petite part du cadmium est excrétée parce qu'il n'existe pas de mécanisme biochimique d'élimination mais aussi du fait qu'il soit réabsorbé dans les tubules. Sa demi-vie dans le corps peut dépasser les 10 ans et même atteindre 40 ans. Les faibles quantités excrétées (0,001 %) le sont essentiellement au niveau urinaire et fécal. (Satarus et Moore, 2004).

#### **1.2.5.1.5.1.2. Mécanismes d'action**

Le cadmium a une activité toxique lorsqu'il n'est pas lié aux métallothionéines. Comme il a été dit précédemment sa distribution dans le corps est large mais ses cibles principales sont les reins et le foie. Il est suspecté de perturber la composition lipidique de ces organes. L'altération des métabolismes d'autres métaux tels que le zinc, le fer, le cuivre ou encore du sélénium(Se) et du calcium(Ca) semble à l'origine de ses principaux effets toxiques. Le cadmium interfère notamment avec les complexes protéines-zinc qui contrôlent la transcription de l'ADN, entraînant ainsi la mort cellulaire.

#### **1.2.5.1.5.1.3. Toxicité**

L'ingestion de cadmium a été utilisée dans de nombreuses tentatives de suicide, elle cause une fuite massive de liquides (vomissements, diarrhées), des oedèmes et lèse de nombreux organes. Les doses fatales ingérées ont été estimées à 25 mg/kg d'oxyde de cadmium qui provoque la mort en 7 jours (ATSDR, 1999). Les valeurs de DL50 calculées chez les rats et les souris varient de 50 à 3000 mg/kg selon la forme chimique du cadmium (INERIS, 2005). Les animaux très jeunes ont des DL 50 plus basses que les adultes. La toxicité aiguë croissante des composés est la suivante : CdS, Cd poudre, CdO, CdSO<sub>4</sub>; CdCl<sub>2</sub>. On a pendant longtemps considéré que le cadmium n'avait pas de retentissement sur la reproduction et le développement. Les connaissances sur ce sujet sont en train de s'affiner.

Certaines études montrent qu'une exposition prolongée au cadmium provoque une diminution de la motilité des spermatozoïdes et une augmentation du taux de spermatozoïdes à morphologie anormale (Magos, 1991). D'autre part, Golmoka (2006), a pu mettre en évidence une relation entre l'exposition maternelle au cadmium et une réduction du temps de gestation

ainsi que du poids qui se traduit par un Retard de Croissance Intra Utérine (Lejeune, 2008). Les femmes souffrant du syndrome Itai Itai (détaillé ci-après) dans le bassin de Jinzu au Japon ont montré un nombre statistiquement élevé d'aberrations chromosomiques, corrélée avec le taux de cadmium urinaire, mais ce phénomène n'a pas pu être confirmé par d'autres travaux. Waalkes et Rhem (1992), ont montré qu'une exposition orale chronique à des doses élevées de cadmium induit des leucémies, des tumeurs testiculaires et des lésions prolifératives de la prostate chez des rats soumis à un régime contrôlé en zinc. Certaines études épidémiologiques confirment le potentiel cancérigène du cadmium par voie orale vis-à-vis de la prostate (INERIS, 2005). Une surabondance de cas de cancer de la prostate et des poumons a clairement été reliée à l'exposition au cadmium dans le milieu professionnel, mais les résultats sont à prendre avec précaution, parce que les travailleurs concernés sont souvent exposés à de nombreux toxiques (par exemple le Zinc dans les usines de batteries Zn/Cd). La littérature ne fournit pas de valeurs de référence concernant le risque d'apparition de tumeurs suite à l'ingestion chronique de cadmium. Le cadmium et ses composés ont été classés par l'International Agency for Research on Cancer (IARC) dans le groupe des cancérigènes confirmés pour l'Homme (groupe1). Toutes les expériences menées sur les rats et les souris confirment que l'exposition orale au cadmium provoque des dommages rénaux, et plus particulièrement des lésions tubulaires induisant de la protéinurie.

#### **1.2.5.1.5.1.4. Valeurs normatives et recommandations**

Les doses sans effet néphrotoxique pour l'Homme ont été estimées à 5 µg/kg/jour pour l'eau de boisson et à 10 µg/kg/jour pour l'alimentation (Perrin, 2007). Après application d'un facteur d'incertitude de 10 (variabilité interindividuelle), les RfD proposées sont égales à 0,5 µg/kg/jour pour l'eau de boisson et à 1 µg/kg/jour pour l'alimentation. Actuellement, la dose tolérable à long terme par ingestion est estimée pour le cadmium à 1 µg/kg/jour.

#### **1.2.5.1.5.2. Le plomb**

Les données disponibles dans la littérature sur le plomb sont remarquables. Elles concernent non seulement les écosystèmes terrestres et aquatiques (Miquel, 2003, Kpéra, 2006 ; Guédénon, 2009 ; Dovonou, 2009 ; Hounkpatin, 2010) mais aussi la santé de l'Homme par l'intermédiaire de l'alimentation (Perrin, 2007). Par ailleurs, la présence du plomb dans l'eau de consommation est habituellement attribuable au phénomène de corrosion qui survient dans les composantes structurales des réseaux de distribution et dans la tuyauterie domestique qui

contiennent du plomb (Gardels et Sorg, 1989 ; Schock, 1990 ; Viraraghavan *et al.*, 1999). Toutefois, sa toxicité est fonction de la teneur ingérée.

#### 1.2.5.1.5.2.1 Toxicocinétique

L'absorption du plomb ingéré dépend de l'état physico-chimique du toxique, des caractéristiques de l'individu et de son régime alimentaire (Perrin, 2007). En effet, l'absorption est accrue en présence de nourriture grasse ou lors de certaines carences, notamment en fer et en calcium. Elle est d'autre part quantitativement plus importante lorsque l'estomac est vide. C'est l'une des raisons pour lesquelles le taux d'ingestion infantile (50 %) est plus élevé que celui de l'adulte (10 %) : l'estomac des enfants se vide en effet plus rapidement (ATSDR, 2005). Concernant l'absorption pulmonaire, on considère que 35 % des particules inhalées se déposent dans les poumons et que 10 % de celles-ci sont absorbées (Mahaffey, 1995). Une fois dans l'organisme, le plomb n'est pas distribué de manière homogène. En réalité, la demi-vie biologique du plomb dans le sang est d'environ  $36 \pm 5$  jours (Chamberlain *et al.*, 1975; Rabinowitz *et al.*, 1976) alors qu'elle serait d'environ 27 ans dans les os (Rabinowitz *et al.*, 1976).

Dans cette optique, le modèle de Rabinowitz (1976), propose une répartition du plomb en trois compartiments. Le plomb sanguin représente environ 1 % de la charge corporelle totale. C'est cependant la composante la plus accessible et donc la plus mesurée même si elle est peu représentative des expositions prolongées car elle diminue rapidement (demi-vie de 36 jours) au profit de la composante osseuse, 90 % du plomb sanguin est trouvé dans les globules rouges. Le plomb dans les tissus mous est responsable de la majorité des effets toxiques. Les organes concernés sont principalement les reins, la moelle épinière et le système nerveux central. Le plomb dans le squelette représente 99 % de la charge corporelle totale. La fraction stockée dans l'os trabéculaire et dans le périoste est encore relativement mobile tandis que celle stockée dans le cortex profond est très stable. Le plomb peut traverser la barrière placentaire et contaminer le fœtus mais peut aussi passer de la mère à l'enfant par l'intermédiaire du lait maternel pour une concentration de 12 µg/L (UME, 2009 ; Agbandji, 2009). La distribution du métal chez le fœtus est similaire à celle rencontrée chez l'adulte 90 % du plomb ingéré n'est pas absorbé et est donc éliminé par les fèces. La partie absorbée est d'abord excrétée par l'urine (76 %), puis par les sécrétions gastro-intestinales, les poils et la sueur. La filtration glomérulaire semble prépondérante dans le mécanisme.

#### 1.2.5.1.5.2.2 Mécanisme d'action

A cause de son analogie structurale,  $Pb^{2+}$  concurrence certains cations métalliques essentiels (notamment  $Ca^{2+}$ ) et se fixe sur leurs récepteurs. Les conséquences peuvent être variables, mais la plupart du temps la fonction biologique des molécules concernées s'en trouve altérée : activité enzymatique inhibée, diminution du transport de certains cations. Au niveau des organites cellulaires, la cible principale du plomb reste les mitochondries dans lesquelles, il s'accumule et provoque des lésions structurales.

#### 1.2.5.1.5.2.3. Toxicité

Lors d'intoxications aiguës (taux de plombémie équivalent à 1000-2000  $\mu\text{g/L}$ ) qui surviennent le plus souvent chez des enfants qui ingèrent des peintures au plomb, le symptôme principal est la colique abdominale (INERIS, 2005). Cette colique survient en général après un stade initial d'anorexie, de dyspepsie et de constipation. Elle peut être accompagnée ou précédée de neuropathies périphériques ou d'altération de la fonction nerveuse centrale. Dans les cas plus bénins, ces altérations ne seront à l'origine que de maux de tête ou de troubles du comportement, mais si l'intoxication est plus sévère une encéphalopathie aiguë convulsive aboutissant à la mort peut survenir. Le plus souvent les séquelles consécutives à de telles crises sont permanentes (Loghman-Adham, 1997). Des études menées sur certains animaux de laboratoires ont pu prouver la toxicité du plomb sur les appareils reproducteurs mâle et femelle (Landrigan et Todd, 1997). Chez l'Homme, de nombreux comptes-rendus médicaux du début du siècle rapportent une baisse de fertilité chez les travailleurs des deux sexes de l'industrie du plomb. Des études récentes ont démontré que le plomb est susceptible de diminuer la quantité de spermatozoïdes, leur motilité et leur viabilité et d'augmenter les malformations morphologiques de leur tête (Telisman *et al.*, 2000). Les études épidémiologiques menées sur des populations professionnelles exposées au plomb sont malheureusement difficilement exploitables car les travailleurs concernés sont souvent exposés simultanément à de multiples toxiques. Anttila *et al.* (1995) ont cependant montré que l'incidence des cancers étaient augmentée de 1,4 (1,8 pour les cancers du poumon) chez les personnes ayant présenté au moins une fois une plombémie  $> 21 \mu\text{g/dL}$ . Les données obtenues sur les modèles animaux sont moins équivoques. Les rats auxquels on administre des composés organiques ou inorganiques de plomb par voie orale à des doses élevées développent des tumeurs bénignes et malignes, le plus souvent rénales. Il faut toutefois noter



que les doses cancérigènes correspondent à 100 fois la dose qu'elles provoquent chez l'être humain. D'autres symptômes (hématologiques, rénaux et nerveux) graves nécessitent une hospitalisation d'urgence. (Magos., 1991). La seule valeur toxicologique de référence concernant les effets sans seuil du plomb, concerne le plomb inorganique et ses composés. Elle est proposée par l'instance américaine de l'OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment) qui s'est basée sur l'expérience d'Azar *et al.*, (1973) et y a appliqué un modèle multi-étape linéarisé. L'Excès de Risque Unitaire par voie orale (ERUo) obtenu est de  $8,5 \cdot 10^{-3}$  (mg/kg/j). En conséquence, l'IARC a classé le plomb inorganique dans la catégorie 2A (probable cancérigène pour l'Homme) et le plomb organique dans la catégorie 3 (non classable en cancérigène). Les chromates et arsénates de plomb sont classés séparément dans le groupe 1 (cancérigènes pour l'Homme). L'exposition chronique à de petites doses de plomb a des effets nocifs qui ne sont pas toujours cliniquement évidents. Ces effets sont principalement concentrés sur trois cibles : les érythrocytes et leurs précurseurs, le système nerveux et les reins (Lehner, 2006). L'intérêt des données obtenues à partir des modèles animaux est secondaire étant donné la richesse des informations disponibles chez les hommes. L'anémie est une manifestation classique de l'intoxication chronique au plomb. Sa sévérité est directement liée à la plombémie. Il s'agit d'une anémie micro ou normochrome qui peut être associée à une augmentation du nombre d'érythrocytes. Elle est due à l'inhibition de la synthèse de l'hémoglobine et au raccourcissement de la durée de vie des globules rouges. A partir d'une concentration sanguine de 10 µg/dL, le plomb commence à inhiber les enzymes responsables de la synthèse de l'hème. Cette inhibition est complète pour 90 µg/dL. (Landrigan et Todd, 1997). Aussi, le plomb ralentit-il le transfert du fer nécessaire à l'élaboration de l'hème (à partir de 15 µg/dL chez l'enfant et 25-30 µg/dL chez l'adulte). Schwarts *et al.*, 1990, ont mesuré le taux d'hématocrite et la plombémie d'une population constituée de 579 enfants résidant près d'une fonderie de plomb. Ils ont montré que les plombémies supérieures à 20 µg/dL étaient reliées à des anémies (définies par un taux d'hématocrite inférieur à 35 %). Une intoxication au plomb a des effets à la fois sur le système nerveux central et sur celui périphérique. Les principales cibles de la toxicité du plomb sur le système nerveux périphérique sont les motoneurones Abrous *et al.* (2003), qui subissent une démyélinisation segmentaire et une dégénérescence axonale ralentissant la conduction électrique. Ces dégénérescences provoquent une paralysie flasque des muscles extenseurs et un affaissement des poignets et chevilles (signes de toxicité connus depuis Hippocrate) ont affirmé Landrigan et Todd (1997). Les effets sur le système nerveux central

sont le plus souvent mis en évidence chez l'enfant. Plusieurs études ont montré que des enfants présentant une plombémie marquée avaient un score au test de QI inférieur par rapport à des enfants au taux de plomb plus réduit (Lanphear *et al.*, 2005). La toxicité neuropsychologique du plomb sur les nouveaux nés a été reconnue par le Centre Américain «Center for disease Control and Prevention » et l'Académie des Sciences des Etats Unis « National Academy of Science ». Une corrélation a pu être démontrée entre le taux de plomb ombilical à la naissance et les performances intellectuelles de l'enfant. Quand la plombémie sanguine atteint 40-80 µg/dL, des inclusions intracellulaires d'un complexe plomb-protéine apparaissent (Loghman et Adham, 1997) et font augmenter la réabsorption d'acide urique, provoquant ainsi une « goutte hyperémique ». Si l'exposition persiste, les cellules tubulaires sont détruites et les tissus se fibrosent. Les marqueurs rénaux, urée et créatinine n'augmentent pas jusqu'à ce que 50 à 75 % des néphrons soient détruits. Enfin, les tissus interstitiels se fibrosent à leur tour et les tubules se dilatent puis s'atrophient. Muntner et al. (2003), ont étudié la plombémie et le taux de filtration glomérulaire (GFR pour Glomerular Filtration Rate) chez une population de 20 000 hommes et femmes de plus de 20 ans. A l'issue de cette étude, ils ont pu mettre en exergue qu'une plombémie de 3,3 µg/dL était accompagnée d'une diminution du GFR. On a pu mettre en évidence une mortalité due aux maladies rénales augmentée chez les travailleurs du plomb (Steenland et al., 1992). Des études toxicologiques et épidémiologiques ont démontré la corrélation existante entre l'exposition chronique au plomb et l'hypertension (Loghman-Adham, 1997). Cette augmentation de la pression artérielle s'explique vraisemblablement par les effets toxiques du plomb sur le rein et son action sur les muscles lisses vasculaires. L'OMS a défini une valeur de Dose Hebdomadaire Tolérable(DHT) pour le plomb inorganique en exploitant des observations réalisées sur des enfants. Celle-ci a été estimée à 25 µg/kg, sans application de facteur d'incertitude puisque les études concernent l'espèce humaine. Cette valeur, correspondant à une Dose Journalière Tolérable (DJT) de 3,5 µg/kg et initialement appliquée aux nourrissons et aux enfants a été étendue à toute la population en général. Concernant le plomb organique l'US EPA, propose une RfD de 10<sup>-7</sup> mg/kg/j pour le tétraéthyl de plomb. Cette valeur a été obtenue en se basant sur l'étude de Schepers (1964) qui définit une LOAEL (pour des effets hépatiques) chez des rats gavés de façon subchronique, et en y appliquant un facteur d'incertitude de 1000 (10 pour l'utilisation d'un LOAEL, 10 pour le passage d'un résultat subchronique à une valeur chronique et 100 pour les variations inter espèces et inter humaines).

#### 1.2.5.1.5.2.4 Valeurs normatives et recommandations

En France, le seuil réglementaire d'intervention sanitaire définissant l'intoxication chez un enfant a été fixé à 100 µg/L de plomb (décrets et arrêtés d'application de la loi n°98-657 du 29 juillet 1998 de lutte contre les exclusions). La valeur de 3,5 µg/kg de poids corporel comme recommandation de dose journalière admissible a été également fixée. La norme de 0,04 mg/kg de plomb dans l'eau destinée à la boisson est fixée par l'OMS.

En dehors du cadmium et du plomb pour lesquels les caractéristiques (Toxicocinétique, mécanisme d'action, toxicité) ont été décrites, seules les propriétés physico-chimiques ainsi que les effets toxiques du zinc, du nickel et du cuivre sont évoquées. Ceci, en raison du fait que ces derniers sont des oligo-éléments. Mieux encore, leur toxicité est fonction de la dose ingérée et de leur spéciation.

#### 1.2.5.1.5.3 Le zinc

Le zinc (Zn) est un métal relativement courant, présent dans les filons métallifères, essentiellement sous forme de blende (Sulfure de zinc). On le trouve également dans le charbon, les bitumes et le pétrole. Il est couramment présent dans les zones minières. Il peut également avoir une origine anthropique. Le zinc et ses composés ont de très nombreuses applications industrielles : revêtement de métaux (galvanisation...), préparation d'alliages, imprimerie et teinture. Les sels de zinc sont eux utilisés dans la fabrication de pigments pour peinture, émaux, matières plastiques, caoutchouc, la préparation de produits pharmaceutiques et d'insecticides. Sa présence dans le milieu provient également de l'usure des pneumatiques sur les chaussées, et de l'usure des chenaux (zinguerie) des bâtiments.

Le zinc est un élément essentiel pour tous les organismes vivants, y compris l'Homme (Senthil Murugan *et al.*, 2008). Des protéines et des enzymes renfermant du zinc participent à tous les aspects du métabolisme, entre autres à la réplication et à la traduction du matériel génétique (Galdes et Vallée, 1983).

A l'instar de tous les oligo-éléments, le zinc devient toxique à fortes doses. Aucune toxicité n'a été signalée pour le zinc d'origine alimentaire, alors que l'exposition professionnelle (Papp, 1968) ou les interventions pharmacologiques (Prasad *et al.*, 1979) produisent des symptômes. Des effets tératogènes ont été signalés chez le mouton (Campbell et Mills, 1979) ainsi que des troubles du métabolisme du cholestérol chez l'Homme (Klevay, 1980) ; ces

deux manifestations seraient attribuables aux effets nocifs de fortes concentrations de zinc sur le métabolisme du cuivre. Son excès conduit à une carence en cuivre et peut favoriser l'apparition de boiterie chez le poulain : ostéochondrose. Le bilan du cuivre devrait donc être surveillé chez les personnes ayant une alimentation riche en zinc. Il est également signalé que les réactions immunitaires seraient altérées chez l'Homme par l'absorption de trop grandes quantités de zinc (Chandra, 1984).

#### *1.2.5.1.5.4 Le nickel*

Le nickel se trouve à l'état naturel dans la croûte terrestre. De formule Ni, la source principale de nickel dans les eaux naturelles est l'oxydation de la pyrite contenant du nickel substitué au fer. La teneur en nickel est contrôlée par le pH et le potentiel d'oxydo-réduction. La pollution des eaux par le nickel peut également être liée aux rejets des eaux industrielles : il est employé dans la préparation des alliages, la production d'aciers inoxydables, les dépôts chimiques et électrolytiques. Il sert également de catalyseur en chimie organique. C'est une substance classée prioritaire par la Directive Européenne 2000/60/CE.

Par ailleurs, le nickel et ses composés sont absorbés par les voies respiratoires et dans une moindre mesure par le tube digestif. Il est concentré dans les poumons, la thyroïde, les glandes surrénales, les reins, le cœur, le cerveau, la rate et le pancréas (Lehner, 2006).

#### *1.2.5.1.5.5. Le cuivre*

Le Cuivre(Cu) est assez fréquemment retrouvé dans la nature, par exemple sous forme de chalcopirite. Ses caractéristiques chimiques n'autorisent cependant pas l'existence de fortes concentrations dans les eaux naturelles. Elles sont donc plutôt d'origine anthropique. Le cuivre est utilisé dans les domaines de l'électricité, de la métallurgie. Les sels de cuivre sont utilisés dans l'industrie de la photographie, les tanneries (fabrication de pigments), l'industrie textile, les traitements de surface (circuits imprimés, galvanoplastie, dépôts chimiques...) et les fongicides... Il est également utilisé en agriculture, en particulier dans l'alimentation des porcs. Le cuivre métallique est insoluble dans l'eau, mais la plupart de ses sels sont solubles : chlorures, nitrates, et sulfates de cuivre. Les carbonates, hydroxydes et sulfures de cuivre sont quant à eux insolubles. Le cuivre est un métal indispensable à la croissance et au bien-être des organismes vivants, y compris l'Homme. Le cuivre est impliqué dans de nombreuses voies métaboliques, notamment pour la formation d'hémoglobine et la maturation des

polynucléaires neutrophiles. De plus, il est un cofacteur spécifique de nombreuses enzymes et métalloprotéines de structure (OMS IPCS, 1998).

L'absorption du cuivre est possible par toutes les voies mais elle s'effectue de manière prépondérante par voie orale et gastro-intestinale. Le taux d'absorption par voie orale est très variable de 15 à 97% et dépend de plusieurs facteurs tels que la forme chimique du cuivre, la nature de l'alimentation, l'interaction avec d'autres métaux ; il est inversement proportionnel à la quantité de cuivre dans l'estomac (Barceloux, 1999; RIVM, 1999 ; Strickland *et al*, 1972).

En liaison avec ses fonctions organiques multiples, le cuivre présente une large distribution dans l'organisme via le sang où il est associé à des protéines dont la céruloplasmine (80-90 %), l'albumine et divers acides aminés. Les plus fortes concentrations tissulaires sont mesurées au niveau du foie, des muscles et de la moelle osseuse. Le foie est le principal organe cible. Chez l'adulte, des taux physiologiques varient de 18 à 45mg de cuivre/g de matière sèche (OMS IPCS, 1998).

La cytotoxicité du cuivre observée lors d'intoxication serait liée à l'inhibition enzymatique du système pyruvate-oxydase par compétition au niveau des groupements sulfhydriles des protéines. Le glucose-6-phosphodéshydrogénase et la glutathion réductase sont inhibés proportionnellement à la concentration intracellulaire du cuivre (Barceloux, 1999). De plus, le cuivre en excès produit des radicaux libres responsables de lésions cellulaires au niveau de l'ADN, des mitochondries et des lysosomes (OMS IPCS, 1998).

La principale voie d'élimination du cuivre est la bile. En effet, 80% du cuivre hépatique soit environ 1,5g/j est éliminé par cette voie. D'où une excrétion majoritaire par la voie fécale (72%). L'excrétion urinaire de cuivre est très faible (0,5-3%) soit environ 30-60 mg/j chez l'adulte (Harris, 1991).

### **1.2.5.1.6. Ambivalence de l'intoxication par les métaux toxiques**

Il arrive, contrairement à ce qu'on devait constater, l'exposition théorique aux métaux lourds est sans conséquences sur l'organisme, ceci grâce à l'existence de décontaminants : les chélateurs. Ce phénomène biologique naturel d'antioxydation est à l'origine de l'absence de pathologies observée malgré l'exposition aux métaux toxiques. Les antioxydants sont capables de stopper les réactions productrices de radicaux libres, annihilant ainsi leur action. Il est donc essentiel d'apporter tous les jours plusieurs formes d'antioxydants à travers l'alimentation générale. Les plantes et les animaux utilisent et produisent de nombreux antioxydants pour se protéger, tels le glutathion, la vitamine C et la vitamine E, ou des enzymes comme la catalase, la superoxyde dismutase et certaines peroxydases. Les antioxydants les plus connus sont le  $\beta$ -carotène (provitamines A), l'acide ascorbique (vitamine C), le tocophérol (vitamine E), les polyphénols et le lycopène. Ceux-ci incluent les flavonoïdes (très répandus dans les végétaux), les tanins (dans le cacao, le café, le thé, le raisin, etc.), les anthocyanes (notamment dans les fruits rouges) et les acides phénoliques (dans les céréales, les fruits et les légumes). Les fruits sont riches en antioxydants, notamment ceux dits rouges, tels les airelles, du fait de la présence conjuguée de vitamine C et de polyphénols. L'avocat, la tomate, le cresson, l'ail, le chou vert, l'épinard, l'asperge, le chou de Bruxelles, le germe de luzerne, le brocoli, la betterave et le poivron rouge sont les légumes ayant la plus forte concentration d'antioxydants. Lors de la cuisson, certains antioxydants tels que la vitamine C sont inactivés, alors que d'autres se transforment pour devenir plus actifs ou plus facilement absorbables par le système digestif (Plaisier, 2008, Hounkpatin *et al.*, 2011). C'est le cas des lycopes de la tomate.

Par ailleurs, certains comportements augmentent l'exposition et les risques liés aux métaux toxiques. Il s'agit de la consommation des drogues, du tabac (Watanabe *et al.*, 1977 ; Agbandji, 2009) qui sont soit inhalés soit chiqués, des huiles saturées (graisses). Le jeûne (estomac acide) augmente l'absorption des métaux lourds en particulier le plomb. Les dialyses exposent aussi l'organisme à un surplus de contamination par les métaux toxiques.

Ce paragraphe a semblé nécessaire pour expliquer les cas apparents d'absence de troubles sanitaires malgré une exposition aux métaux toxiques ou les cas d'une observation de grandes pathologies en face d'une exposition apparemment bénigne qu'est l'usage des pesticides comme contraintes agricoles.

### **1.2.5.2 Pesticides**

Vu que les pesticides renferment des métaux toxiques, leurs caractéristiques sont parfois confondues. Il convient de présenter les origines, les voies de contamination de l'Homme et de l'environnement.

#### **1.2.5.2.1. Définition et origines**

Appelés également «phytosanitaires», les pesticides sont des substances chimiques minérales ou organiques de synthèse utilisées à vaste échelle contre les ravageurs des cultures, les animaux, les herbes nuisibles et les vecteurs d'affections parasitaires ou microbiologiques de l'Homme et des animaux domestiques (Ramade, 1993). En agriculture, ils sont généralement utilisés pour garantir la sécurité alimentaire, ils permettent ainsi une amélioration quantitative et qualitative des rendements. On distingue notamment des insecticides utilisés contre les insectes nuisibles, des fongicides utilisés contre les champignons phytopathogènes, des herbicides qui détruisent les plantes adventices et, de façon plus générale, toute végétation jugée indésirable. Les substances chimiques sont très diverses comme des composés minéraux (soufre, sulfate de cuivre), des molécules organiques de synthèse (carbamates, urées substituées, triazines, organophosphorés,...) mais aussi des molécules organiques naturelles (nicotine, pyrèthrine). D'une manière générale, les pesticides contaminent fréquemment les eaux de rivières ou et/ou souterraines, mais ils sont soumis à des restrictions d'usage par décision du Ministère de l'Agriculture afin de limiter leur impact, notamment sur la santé humaine par l'entremise de la consommation de l'eau de boisson.

#### **1.2.5.2.2. Voies de contamination de l'Homme**

Des éléments constitutifs de pesticides peuvent être stockés dans les organismes vivants et s'accumuler dans le temps. Les voies d'entrée sont : la voie cutanée, la voie respiratoire et la voie orale. Ces éléments de pesticides qui s'accumulent dans un poisson par exemple sont des centaines ou des milliers de fois plus importants que le niveau de pesticides de l'eau dans laquelle l'animal vit. Ce type d'accumulation est appelé la bioaccumulation. Plus une espèce donnée est haute dans la chaîne alimentaire, plus grand est le risque d'être affecté par les pesticides. Un exemple de difficultés liées à cela est le déclin numérique des oiseaux piscivores, à la fois parce qu'ils échouent à se reproduire et parce que la coquille de leurs œufs est plus mince à cause des pesticides organochlorés (Caldas, 1994 ; Boivin *et al.*, 2005). Les humains

qui mangent des aliments à base d'animaux courent aussi le risque d'être exposé aux éléments constitutifs des pesticides bio-accumulés.

La faune est exposée à la nocivité des pesticides en mangeant des aliments ou en buvant de l'eau contaminés, en respirant les vapeurs des pesticides ou en absorbant les pesticides à travers leur peau. Les prédateurs peuvent être empoisonnés en mangeant des animaux qui ont été exposés aux pesticides. Beaucoup d'insecticides affectent le système nerveux des animaux sauvages, ce qui peut interférer avec leur capacité à survivre ou à se reproduire. Ce qui justifie l'apparition de certaines maladies telles que les *cysticercoses* chez les bœufs de la zone. Les pesticides peuvent aussi passer à travers le placenta ou affecter les œufs des oiseaux ou des reptiles, ce qui cause des affaiblissements ou des défauts qui apparaissent plus tard dans la vie (Skoog *et al.*, 1991). Les herbicides, utilisés pour détruire les mauvaises herbes, contaminent les plantes qui sont aussi importantes pour la survie de la faune. Les poissons, les amphibiens et les insectes aquatiques sont spécialement susceptibles à la contamination de l'eau par les pesticides. Ceci affecte aussi les animaux qui sont dépendants de ces créatures pour survivre (Birghila et Dobrinas, 2005). Le tableau III présente les divers modes d'absorption des pesticides.

**Tableau III : Modes d'absorption des pesticides et leurs effets sur la santé humaine**

Charges	Voie d'absorption	Conséquences
charge sur le lieu de travail dépend de: - conditions météorologiques - type et état de la culture - concentration du produit - formulation - adjuvants - méthode d'application - état du matériel - temps de travail - direction du vent - attention apportée au travail - autres facteurs	voie dermique	symptômes aigus - vertiges - nausées - convulsions - coma
constitution de la personne en contact - état de santé général - alimentation insuffisante ou déséquilibrée - problèmes psychiques - autres facteurs	voie orale	symptômes chroniques - lésions hépatiques! rénales - stérilité - modification de l'hémogramme - formation de tumeurs - allergies - altérations dermiques - autres facteurs
	voie pulmonaire	

*Source* : PAN et CTA, 1993

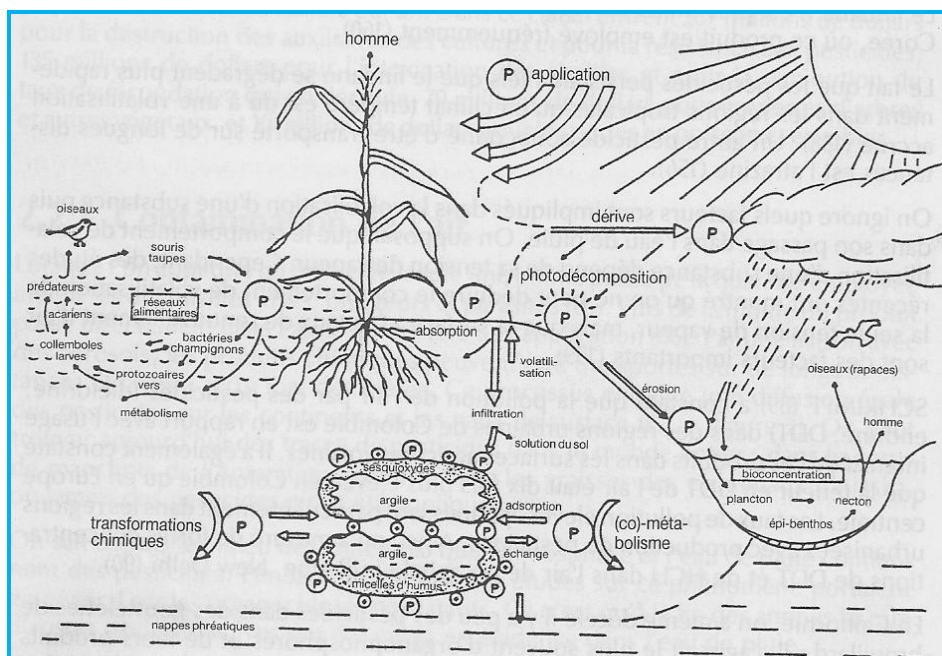
Il apparaît donc que la toxicité des pesticides dépend de leur mode d'absorption (voie dermique, orale, pulmonaire). En effet, l'intoxication aux pesticides passe d'une simple allergie à un état de coma, en passant par des symptômes aigus et chroniques.



### 1.2.5.2.3. Les pesticides dans l'environnement

Dans l'environnement, les pesticides se retrouvent au niveau des différentes composantes que sont l'eau, l'air, le sol, la végétation ... (Adam *et al.*, 2005) qu'ils affectent.

La figure 3 illustre le processus de diffusion des pesticides dans l'air, le sol et l'eau.



**Figure 3:** Diffusion, accumulation, fixation, transport et dégradation des pesticides dans l'air, le sol et l'eau  
*Source : Ottow, 1985*

L'eau de ruissellement, l'érosion du sol et l'infiltration dans le sol font diffuser les pesticides dans les eaux de surface, le sol et dans les nappes. Les pesticides peuvent être fixés temporairement par adsorption sur les particules du sol, c'est-à-dire soustraits aux cycles des éléments. Mais, les capacités de filtration et de transformation et le pouvoir tampon des sols ont leurs limites, qui dépendent de la texture et d'autres caractéristiques pédologiques. Dans le sol, les pesticides sont en majorité absorbés rapidement et sans distinction par les matières humiques (Ottow, 1985). Comme illustré par la figure 3, la plupart des pesticides sont retenus par des particules du sol (colloïdes minéraux et organiques), ce qui ralentit leur percolation vers les eaux souterraines. La dégradation des matières nocives des pesticides passe par plusieurs substances intermédiaires avant d'aboutir à des éléments naturels du sol, et s'effectue plus ou moins rapidement. Les organochlorés cependant présentent des liaisons chlore-carbone non physiologiques et ne sont dégradés que très lentement (Azehoun P. E. et al., 2006)

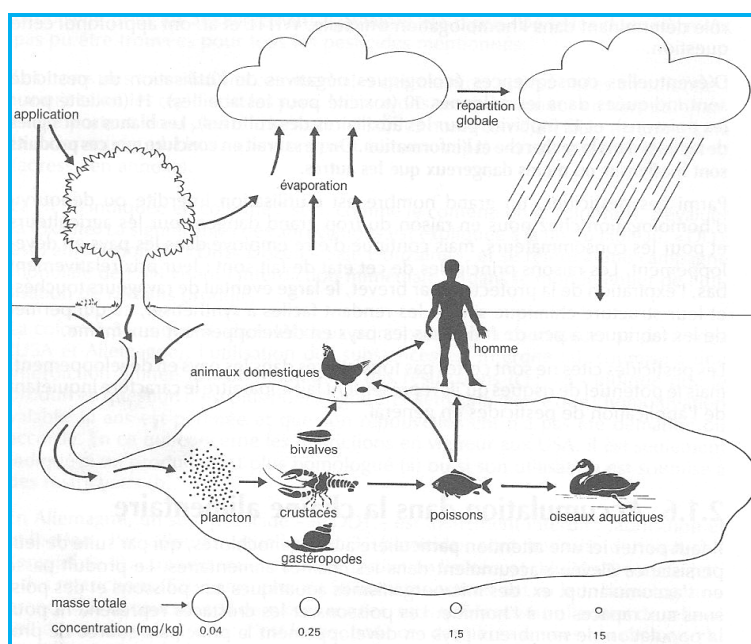
La dégradation des résidus de pesticides dans le sol dépend de la nature chimique des constituants et de la composition physico-chimique du sol et de la capacité des microorganismes et de leur adaptation à la biodégradation de ces résidus (Coats, 1991 ; Boivin, 2005).

La recherche des résidus de pesticide dans la Commune de l'aire de l'étude, montre que l'endosulfan et la cyfluthrine sont les plus persistants parmi les matières actives utilisées. Ainsi, le mode d'application des formulations, la nature du pesticide et sa qualité de même que le respect des doses-précautions de pulvérisations de la formulation utilisée reste à vérifier pour une meilleure prévention de la santé humaine.

Vu la dégradation du couvert végétal, les pesticides peuvent être entraînés dans les eaux par ruissellement ou infiltration.

Il faut porter ici une attention particulière aux organochlorés, qui par suite de leur persistance élevée s'accumulent dans les chaînes alimentaires. Le produit passe en s'accumulant par exemple, des microorganismes aux poissons et des poissons aux rapaces ou à l'Homme.

La figure 4 présente la répartition des pesticides dans l'environnement de l'Homme.



**Figure 4 :** Répartition des pesticides dans l'environnement.  
*Source : PAN et CTA, 1993*

Le processus d'accumulation est caractérisé par une augmentation de la concentration parallèlement à la diminution de la masse totale (PAN et CTA, 1993).

Les propriétés d'un pesticide déterminent son comportement. Les pesticides qui s'évaporent facilement ont le plus grand potentiel dans l'atmosphère. Les pesticides qui sont très solubles dans l'eau vont s'infiltrer facilement à travers le sol et sont des contaminants potentiels des eaux souterraines. Ils tendent aussi à rester dans l'eau plus longtemps et empoisonnent les poissons et les autres micro-organismes. Les pesticides qui ne se dissolvent pas dans l'eau restent habituellement dans le sol et se déposent au fond des étendues d'eau.

Un itinéraire d'accumulation est relatif au bétail qui broutte les herbes traitées par les herbicides, à leur tour ce bétail est consommé par l'homme. Une autre forme d'accumulation passe aussi par des provendes pour bétail (aliments importés des pays industrialisés) dont la consommation favorise la contamination de l'Homme. Même de petites quantités résiduelles d'organochlorés infiltrent presque sans perte de l'aliment aux réserves de graisse de l'animal ou dans le lait.

#### **1.2.5.2.4 Effets de certains pesticides sur la santé humaine**

Les insecticides sont préoccupants car leurs mécanismes d'action, dirigés contre les insectes, peuvent également perturber le métabolisme humain. Ils peuvent entraîner des effets neurologiques graves suivis de séquelles voire la mort (Stanciu *et al.*, 2006). Les risques liés à l'exposition par voie respiratoire sont comparables à ceux liés à la consommation d'eau de boisson: il y a autant de pesticides dans 2 litres d'eau de boisson (consommation quotidienne) contenant 0,1 µg/L (norme de potabilité) que dans 20 m<sup>3</sup> d'air (volume respiré quotidiennement) à 10 µg/m<sup>3</sup> (valeur observée en moyenne mensuelle, voire annuelle pour certains pesticides) ont clamé Caraglia *et al.*, (2005). S'agissant de la chaîne alimentaire, l'exposition se fait par voie digestive, essentiellement à partir des résidus présents dans les eaux de consommation et l'alimentation. Quant à l'exposition aux produits d'usage domestique, les données actuelles ne permettent pas de la quantifier ; mais, il n'est pas sûr que celle-ci soit négligeable.

En raison de leur liposolubilité, les organochlorés s'accumulent dans les graisses ou sont transmis après stockage dans des substances de sécrétion tel que le lait. N'étant pas solubles dans l'eau, ils ne sont pas éliminés par les reins (PAN et CTA, 1993).

Les pesticides qui sont vaporisés peuvent être portés par le vent et finalement échouer au sol ou dans l'eau ou sur les aliments non protégés. Les pesticides qui sont appliqués directement au sol (épandage) peuvent être drainés dans l'eau ou peuvent passer à travers le sol dans les eaux souterraines, une source majeure de l'eau de boisson. Ces pesticides sont décomposés ou

dégradés par l'action du soleil, de l'eau, d'autres produits chimiques ou des micro-organismes (Sette *et al.*, 2006). Ce processus de dégradation mène souvent à la formation de résidus moins nuisibles, mais peut parfois produire plus de produits toxiques. Il est aussi possible pour un pesticide de devenir résistant à la dégradation par n'importe quel moyen et donc rester inchangé dans l'environnement pour de longues périodes de temps (Savadogo *et al.*, 2006). On les appelle les pesticides persistants.

Qu'ils soient résidus de pesticides ou métaux toxiques, les risques liés aux xénobiotiques ne sont pas des prévisions subjectives. Ils sont appréhendés à partir d'une démarche scientifique sous le vocable « évaluation des risques » qui ressort du domaine de la toxicologie réglementaire.

### **1.2.6. Evaluation des risques liés aux xénobiotiques : la toxicologie réglementaire**

La toxicologie réglementaire a pour but de prédire le risque que représentent certaines substances pour la santé humaine et l'environnement. Elle permet tout d'abord d'identifier le danger (les effets toxiques de ces substances) puis d'établir des valeurs toxiques de référence (VTR) qui quantifient la probabilité de survenue de ce danger. Cette première étape est primordiale car elle détermine l'importance et la pertinence des mesures d'évaluation et de gestion du risque qui seront ensuite éventuellement prises. Pour évaluer le potentiel toxique d'une substance, les scientifiques disposent de deux types de supports : les modèles animaux (rongeurs, primates...) et les populations humaines accidentellement exposées. Chacun d'entre eux est exploité car ils sont susceptibles de fournir des informations différentes mais complémentaires. Les données obtenues à partir de modèles animaux présentent l'avantage d'être nombreuses (ce qui permet une exploitation statistique) et de répondre à des objectifs précis, grâce à des protocoles d'expérimentations élaborés et variés. Cependant, à cause des variations interspécifiques, elles ne sont pas toujours extrapolables à l'Homme et doivent donc être interprétées avec précaution. Au contraire, les intoxications humaines sont plus rares et surviennent par accident, dans des conditions qui ne se prêtent pas toujours à une étude. Les informations fournies par les études cliniques et épidémiologiques de populations exposées sont donc précieuses. Elles sont affranchies de l'incertitude liée aux variations interspécifiques et permettent donc d'affiner les données obtenues à partir des modèles animaux. Réellement, elles sont incomplètes et seraient à elles seules insuffisantes. Ainsi ces deux types de travaux sont complémentaires et nécessaires à l'évaluation du risque pour l'Homme.

### ***1.2.6.1 Concepts de base relatifs à l'évaluation des risques liés aux xénobiotiques***

Cette rubrique évoque les notions relatives aux xénobiotiques, à la dose (interne ou absorbée), aux différentes voies d'absorption, aux divers types de toxicité et les variabilités individuelles.

#### **1.2.6.1.1 Xénobiotique**

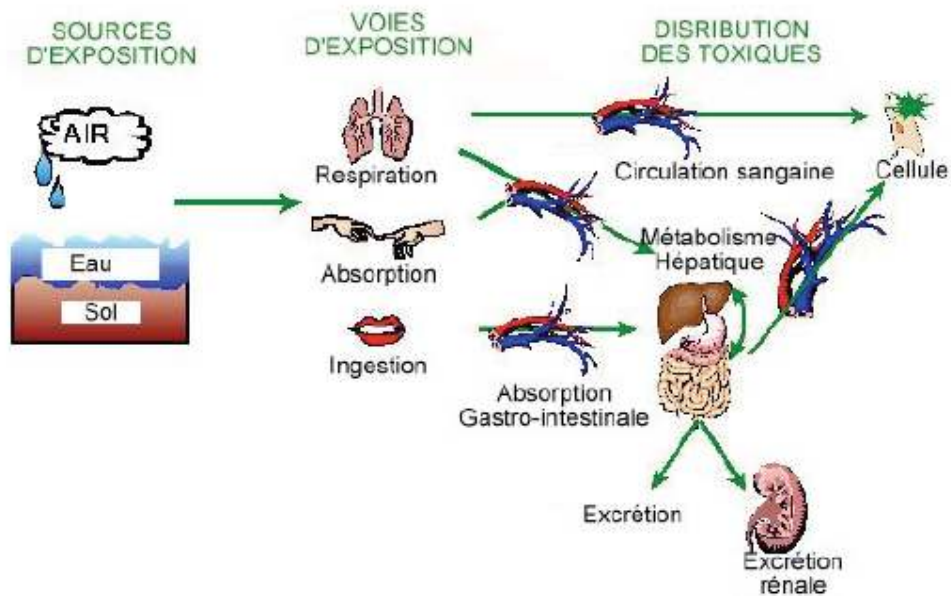
Le xénobiotique est toute substance (chimique, biologique ou physique) étrangère à l'organisme, tels que les métaux lourds et les molécules de pesticides. Un xénobiotique qui a pénétré dans l'organisme peut agir sur celui-ci ; les résultats de cette action sont appelés les effets, l'étude du mécanisme d'action de ces effets est la toxicodynamie. Inversement, l'organisme peut agir sur ce produit ; c'est ce qu'on appelle les biotransformations, l'étude fait partie de la toxicocinétique. On dit qu'une substance est toxique lorsque, après pénétration dans l'organisme, quelle que soit la voie, à une certaine dose unique ou répétée, elle provoque, immédiatement ou à terme, de façon passagère ou durable, des troubles d'une ou plusieurs fonctions de l'organisme pouvant aller jusqu'à l'arrêt complet de ces fonctions et amener la mort.

#### **1.2.6.1.2. Dose**

On se réfère à la dose externe lorsqu'on parle de la quantité de substance qui entre en contact avec l'Homme par diverses voies d'exposition (inhalation, ingestion, contact cutané), et de la dose interne ou absorbée lorsqu'il s'agit de la quantité de substance qui a pénétré dans l'organisme. La dose interne est donc celle externe réduite des taux d'absorption. L'accroissement de la dose interne au sein d'une population s'accompagne généralement d'une augmentation de l'intensité ou de la diversité des effets toxiques (c'est la relation dose-effet), ou d'une augmentation de la fréquence de survenue d'un effet (c'est la relation dose-réponse).

#### **1.2.6.1.3. Voies d'absorption**

Ce sont les voies par lesquelles une substance pénètre dans l'organisme. Les voies d'absorption habituelles sont les voies respiratoires (par inhalation) ; la peau (par pénétration cutanée) et la voie digestive (par ingestion). L'absorption de substances toxiques peut provoquer une cascade de signaux biologiques (figure 5).



**Figure 5 :** Différentes voies d'absorption des xénobiotiques  
*Source :* Ecotox-Alsace Group, 2012

La distribution des toxiques s'effectue à travers les cellules et les métabolismes hépatiques suite à l'ingestion, à l'absorption et à la respiration. Il est à noter que l'air, l'eau et le sol sont les composantes environnementales qui sont plus affectées.

#### 1.2.6.1.4. Types de toxicité

On distingue de façon classique, trois (03) formes de toxicité : la toxicité aiguë, la toxicité à court terme (subaiguë et subchronique) et la toxicité à long terme (chronique). La plupart des xénobiotiques peuvent causer à la fois une toxicité aiguë et une toxicité à court terme ou à long terme selon les conditions d'exposition. Les effets néfastes qui en résultent peuvent être différents. Ils peuvent être locaux (effets au point de contact avec l'organisme) ou systémiques (effets sur un ou plusieurs organes/systèmes après distribution dans l'organisme par voie sanguine).

La toxicité d'une substance peut être modifiée par l'exposition préalable, simultanée, ou consécutive à une autre substance. Les effets peuvent alors soit s'additionner (synergie additive) ou s'amplifier (potentialisation), soit au contraire se combattre (antagonisme ; notion à la base de l'utilisation d'antidotes). Les effets sur la santé peuvent être réversibles ou temporaires lorsqu'ils disparaissent après cessation de l'exposition à la substance (par exemple irritation de la peau, nausées), ou irréversibles ou permanents lorsqu'ils persistent ou s'intensifient après arrêt de l'exposition (par exemple cancer, cirrhose hépatique).

### **1.2.6.1.5 Variabilité individuelle**

Les individus peuvent être affectés différemment par une dose toxique, et une même personne peut y réagir différemment selon les moments de sa vie. Deux principaux types de facteurs contribuent à expliquer la nature et l'étendue des effets toxiques :

- *les facteurs héréditaires et les facteurs physiologiques*

### **1.2.6.2. Méthodes d'évaluation des risques d'exposition aux xénobiotiques**

L'évaluation des risques est une démarche structurée développée par l'Académie des sciences américaine au début des années 80. Celle-ci la définit comme « une démarche méthodique de synthèse des connaissances scientifiques disponibles en vue d'évaluer les effets sur la santé résultant d'une exposition d'une population ou d'individus à une substance, un agent ou une situation dangereuse » (Ricard, 2003). Elle s'est peu à peu imposée au niveau international comme l'outil de référence pour évaluer les risques sanitaires chimiques, biologiques et radiologiques liés à l'environnement. Elle est en revanche peu appropriée aux phénomènes globaux comme les risques climatiques ou aux risques forts de manière générale (impacts immédiats des accidents industriels par exemple).

La toxicologie est un des piliers du processus de l'évaluation du risque pour la santé de l'Homme dans son environnement. Le recours à des données toxicologiques s'applique à toutes les étapes de l'évaluation de risque. La formalisation de l'évaluation du risque toxicologique à une exposition se concrétise par une démarche scientifique structurée et standardisée avec une traçabilité des éléments qui constituent l'expertise (sources d'informations, références bibliographiques, guides méthodologiques nationaux).

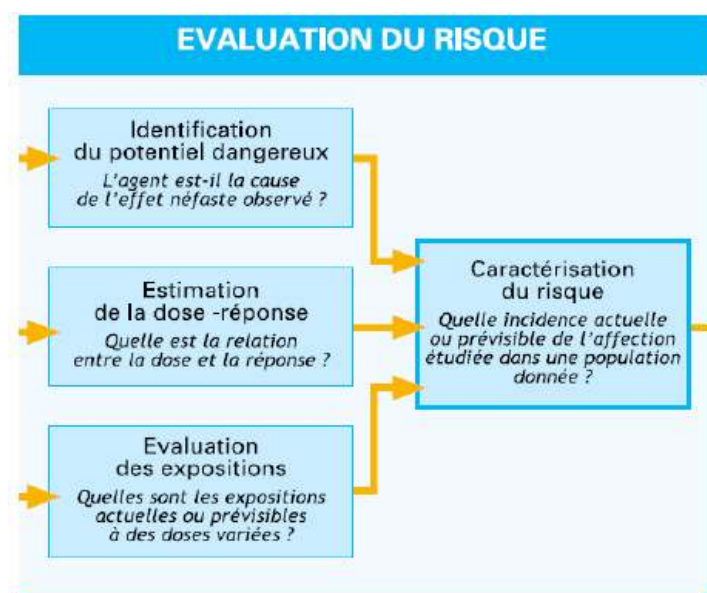
Cette évaluation est définie comme une analyse qualitative et quantitative qui vise à déterminer la probabilité qu'une exposition à un ou des agresseurs environnementaux engendre des effets néfastes sur la santé humaine (MSSS, 2002).

Dans le cas d'expositions passées, l'objectif de la démarche d'évaluation rétrospective est de savoir si ces expositions peuvent être à l'origine de pathologies observées ou non dans la population, d'examiner la pertinence d'une étude épidémiologique, d'un dépistage.

De manière prospective, la démarche est utilisée dans le cadre d'études d'impact ou pour des sites pollués, avant la mise en place d'installations ou d'aménagements afin d'évaluer leur futur impact sur la santé des populations concernées.

Elle est également employée dans le cadre d'expositions actuelles pour orienter vers d'éventuelles mesures correctives.

L'objectif global de la démarche est de guider la décision en situation d'incertitude de manière cohérente et transparente. Elle passe par la mesure mais également par la modélisation du réel, c'est-à-dire, la réunion et la synthèse des données scientifiques disponibles (process industriels, devenir des polluants dans l'environnement, comportement des populations, épidémiologie, toxicologie). Cette démarche est traduite par la figure 6.



**Figure 6** : Evaluation du risque, d'après les quatre étapes de l'évaluation des risques pour la santé humaine  
*Source* : NRC (1983)

L'évaluation des risques comporte, après une description de la situation, les quatre étapes suivantes :

- l'identification du potentiel dangereux du ou des agents concernés, indépendamment de la probabilité d'apparition d'effets néfastes ;
- l'estimation de la relation dose-effet ou dose-réponse qui vise à quantifier la relation entre la dose d'exposition et la réponse de l'organisme ou sa probabilité de réponse ;



- l'évaluation des expositions qui permet d'identifier les populations qui ont été, sont, ou seront en contact avec l'agent dangereux ainsi que les voies, niveaux et durées d'exposition correspondants ;
- la caractérisation du risque qui constitue l'étape de synthèse de la démarche, de présentation et de discussion des résultats.

Actuellement, dans le langage courant, les deux premières étapes sont souvent rassemblées en une phase appelée caractérisation des dangers.

L'analyse de l'exposition aux polluants fait partie intégrante des trois étapes essentielles de l'évaluation du risque d'origine environnementale pour la santé humaine.

De multiples facteurs sont donc à considérer en amont de toute évaluation des risques liés à l'exposition aux xénobiotiques, de l'aspect physico-chimique et biologique à l'impact physiologique. Une connaissance approfondie de l'origine, du devenir, des interactions et de la toxicité des polluants est primordiale. C'est ce qui justifie la place de ce premier chapitre des généralités sur la question de l'eau en lien avec les métaux lourds et les pesticides.

Mais au-delà des généralités relatives à la toxicité des pesticides, des métaux lourds et autres substances qui polluent les ressources en eau, il importe d'appréhender la situation à travers une étude de cas idoine qui justifie le bien fondé du sujet dans un cadre physique et humain.

## **CHAPITRE 2 : CADRE DE L'ETUDE**

Ce chapitre met en exergue les facteurs du milieu physique et les aspects de l'environnement humain à travers les activités économiques de même que l'importance de l'eau dans la vie des ménages du bassin du Niger, notamment ceux de la zone cotonnière de la commune de Kérou.

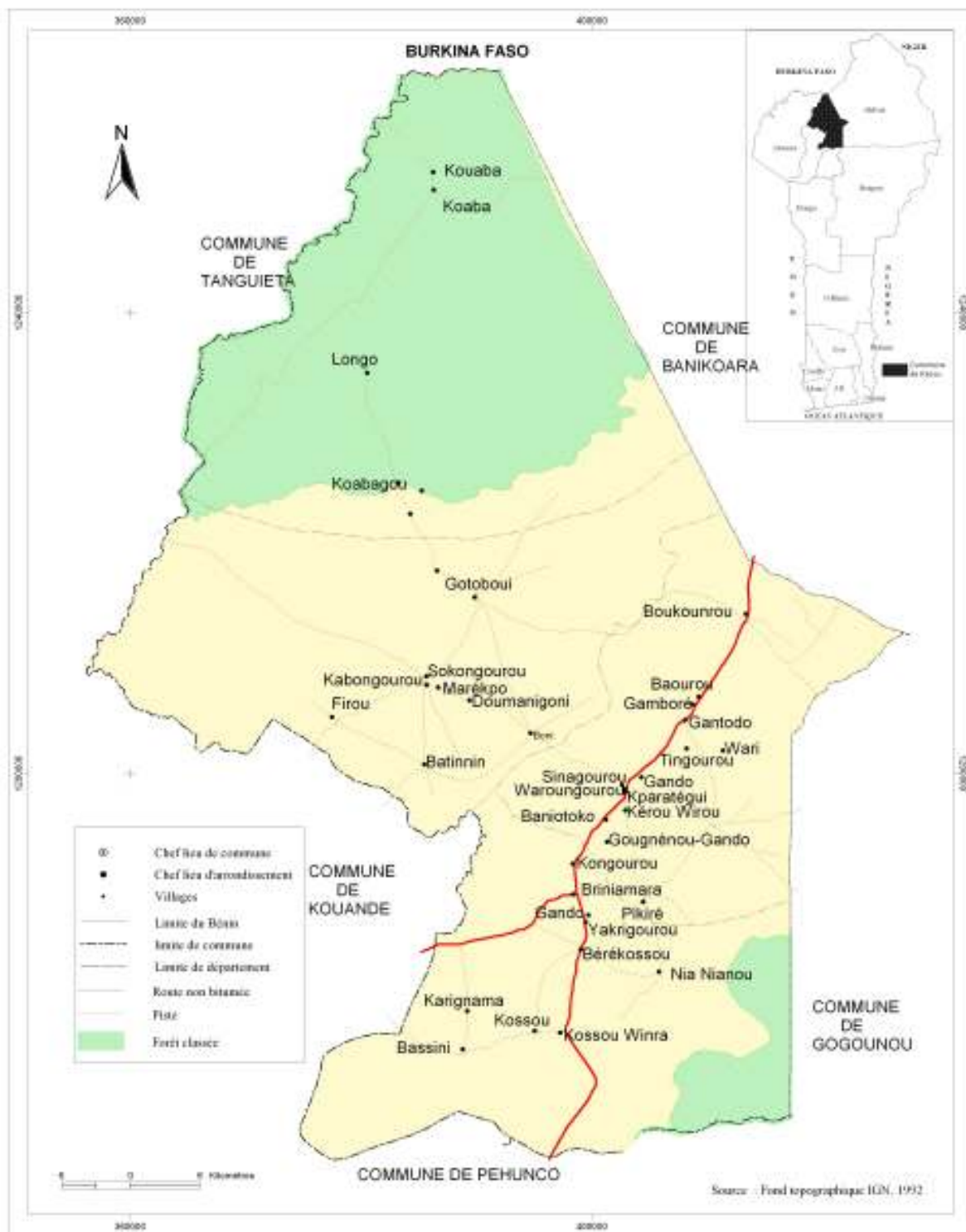
## **2.1 Description physique du cadre d'étude**

L'environnement physique est déterminant dans la disponibilité des ressources naturelles dont celle en eau et l'installation humaine. Administrativement, le bassin béninois du fleuve Niger s'étend sur trois départements à savoir : l'Alibori (six communes : Banikoara, Gogounou, Kandi, Karimama, Malanville, Segbana), l'Atacora (trois communes : Kérou, Péhunco et Kouandé) et le Borgou (quatre communes : Bembèréké, Kalalé, Nikki et Sinendé) soit, treize communes. La commune de Kérou se retrouve entre les sous bassins de l'Alibori et du Mékrou; deux des trois sous bassins du fleuve Niger (sous bassins de la Mékrou, de l'Alibori et de la Sota), orientés en général SSW-NNE (Vissin, 2007). Située dans le département de l'Atacora (figure 7), la commune de Kérou est la première productrice de Coton dans les départements de l'Atacora et Donga et la deuxième au niveau national.

A cet effet, la nature du sol, du climat, de la végétation, de l'hydrologie, de l'hydrogéologie et autres constitue des difficultés les activités agricoles qui appellent à des mesures d'adaptation dont l'aboutissement est l'utilisation des produits phytosanitaires (pesticides, engrais). De même, la densité relative de la population qui n'est pas malheureusement proportionnelle au nombre de points d'eau est considérée comme une contrainte qui pose le problème de la gestion des ordures, de l'insalubrité autour des puits et forages et de la consommation de l'eau d'origine douteuse (Elégbédé, 2007). L'ensemble de ces contraintes précitées apparaissent comme des facteurs de risques de détérioration de la qualité de l'eau dans la zone d'étude.

Outre les travaux réalisés par Vissin (2007) sur l'impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger, aucune étude n'a été menée sur l'incidence que peuvent avoir les activités agricoles sur l'environnement et en particulier sur les ressources en eau. Aussi, la présente étude s'est-elle proposé de s'intéresser à la problématique de la pollution par les pesticides et les métaux toxiques sans occulter l'impact des bactéries.

Pour ce faire, les contextes climatique, hydrologique, hydrographique et hydrogéologique, d'une part et les paramètres topographiques, la flore, les sols et la faune d'autre part, sont présentés.



**Figure 7 : Localisation de la commune cotonnière de Kérou**  
*Source : ELEGBEDE, 2011*

### **2.1.1. Contexte climatique**

Le bassin du Niger, tout comme la commune de Kérou, s'inscrit dans un ensemble climatique ouest-africain.

En effet, cette zone a fait l'objet de plusieurs études dont les plus édifiantes sont celles de Janicot (1985, 1988, 1990a et b), de Fontaine (1985, 1986, 1990a et b), de Moron (1992, 1993), de Sultan (2002), de Sultan et Janicot (2004) et de Vissin (2007).

Ces travaux ont permis de caractériser cette zone du Bénin par une alternance de deux systèmes météorologiques: le système de la mousson, humide, d'origine océanique et celui du désert caractérisé par des conditions atmosphériques sèches et chaudes. On y distingue:

- une saison sèche et fraîche, de fin octobre à mi-février ;
- une saison sèche et chaude, entre mi-février et mi-mai;
- une saison pluvieuse de mi-mai à mi-octobre.

La pluviométrie y est relativement moyenne, environ 1000 mm par an les pluies sont réparties de façon très inégale; 60 % du total annuel tombe durant les mois de juillet, août, et septembre, tandis qu'il est rare d'enregistrer une pluie en décembre, janvier ou février. La température moyenne annuelle est de 27°.

### **2.1.2. Contexte hydrographique**

Le fleuve Niger est le principal bassin hydrographique du nord Bénin. Il reçoit les eaux des rivières Mékrou, Alibori et Sota qui sont ses principaux affluents. La commune d'étude se situe entre les sous bassins de l'Alibori et du Mékrou ; ce qui lui permet de disposer de ressources en eau de surface non négligeables. Ces sous bassins présentent des berges abruptes et leurs alluvions sont riches en blocs de gravillons. Ces dépôts pauvres en argiles sont perméables et ne favorisent pas la rétention des eaux en surface capables de pérenniser les écoulements. En saison sèche consécutive à une saison pluvieuse à très faible pluviométrie, seule la rivière Yatama (alimentant la cascade de Tanougou) présente un écoulement pérenne; même la Pendjari tarit en plusieurs endroits (Agbossou et Okoundé, 2001).

### **2.1.3. Contexte hydrogéologique**

Bien que la pluviométrie donne des relevés intéressants pour la zone (900 à 1000 mm de pluie en moyenne par an), l'infiltration des eaux de pluie est très intense en raison de la très forte

densité du réseau de fracturation et de la nature des sols à perméabilité élevée. Par ailleurs, les fortes valeurs de l'évapotranspiration potentielle souvent influencent négativement la saturation en eau du niveau superficiel du sol. La région se trouve sur un socle granito-gneissique précambrien recouvert d'une épaisse couche d'altération. Cette structure géologique ne comporte pas d'importantes nappes aquifères; seules les fractures ouvertes du substratum et la couche d'altération peuvent contenir de modestes réserves. Cette région est dite zone hydro-géologiquement difficile.

Cette zone s'étend donc sur des gneiss ainsi que sur des formations de micaschistes, des schistes et de quartzites de l'Atacora. Il y est également constitué de terrains gneissiques avec des granites qui affleurent dans le haut bassin de l'Alibori. Entre les séries de fractures orientées nord-sud apparaissent aussi des migmatites.

Le socle cristallin constitué de roches magmatiques et métamorphiques est imperméable, facilitant ainsi le ruissellement des substances utilisées dans le lit des cours d'eau. Dans ces roches, on trouve deux types de nappes. Les premières se situent dans la couche d'altération argilo-sableuse dont l'épaisseur est généralement de l'ordre de 10 à 30 m et qui sont exploitées par des puits à grands diamètres (Vissin, 2007). Les secondes nappes sont localisées au niveau du socle sous-jacent à la couverture d'altération dans les fissures qui constituent un aquifère discontinu, ne contribuant que très faiblement à alimenter les débits d'étiage (Vissin, 2007).

La partie s'étendant sur des formations du socle granito-gneissique précambrien comprenant essentiellement: gneiss, migmatites, micaschistes, diorites et quelques quartzites sont accompagnés localement de granites.

L'analyse de la coupe géologique sud-nord dans le sous bassin de la Sota (Vissin, 1998 et 2007) permet de distinguer de bas en haut :

- des grès sableux fins, légèrement arkosiques (grès feldspathiques résultant de la roche granitique ou gneissique) vers la base, d'une épaisseur de 40 m environ, visibles à partir du talweg ;
- des grès grossiers et des silts (sédiments meubles très fins, plus ou moins consolidés), blancs ou violacés, comportant à leur base des grès argileux en plaquettes, de 10 m d'épaisseur environ ;

Ces formations géologiques expliquent la nature et les propriétés des sols de la ceinture cotonnière qui sont d'une extrême fragilité. Dans le cadre de notre étude, tous ces aspects seront mis à contribution pour une meilleure compréhension du phénomène de la pollution dans cette partie de la haute vallée de l'Ouémé.

#### **2.1.4 L'interdépendance entre les différentes sources**

Les eaux du sous-sol ont un lien direct avec celles de surface. Les cours d'eau sont alimentés par le ruissellement (lors des fortes pluies), mais surtout par les nappes souterraines. Cette contribution aux rivières concerne tous les bassins versants mais elle varie beaucoup selon le cours d'eau (de 30 à 80 %) et selon l'année. En saison sèche par exemple, les apports en eau de pluie sont plus faibles. Les rivières sont donc principalement pourvues par l'eau de la nappe ce qui permet d'atténuer l'étiage. A l'inverse, en cas de fortes précipitations, la nappe déborde telle une éponge gorgée d'eau, et, le sol ne peut plus absorber le surplus qui vient grossir les rivières. Ce type de scénario entraîne des inondations.

En effet, on peut distinguer deux niveaux de nappes dans le sous-sol. Dans une première couche de 1 à 40 mètres de profondeur, l'eau s'infiltré au sein de roches altérées ; en prise directe avec la pollution, elle peut montrer des teneurs en nitrates supérieures à la normale de l'OMS qui est de 50mg/L pour l'eau de boisson. Il faut souligner que parfois dans, 3% des quantités d'eaux pompées même en profondeur, dépassent la valeur réglementaire de l'OMS en pesticides soit 0,1µg/L. En période sèche, comme la contribution en eau souterraine est plus forte, de manière générale, la qualité de l'eau est meilleure qu'en saison pluvieuse. De plus, le phénomène d'élimination chimique et biologique des nitrates est particulièrement actif à cette saison. Et comme il pleut moins, l'apport de polluants par le lessivage des terres cultivées est moins important.

#### **2.1.5. Topographie**

Le relief de la ceinture cotonnière d'altitude variant entre 200 et 500 m est peu accidenté avec une prédominance des plateaux de grès et de vastes pénéplaines granito-gneissiques qui subissent les effets de l'érosion différentielle (Adam et Boko, 1993 ; Le Barbe et al., 1993).

Par ailleurs, la topographie de la commune est aussi marquée par des cuirasses étalées, alternées avec des glacis à pentes douces. Il s'agit en effet d'un substratum constitué de formations

granito-gneissiques, attribuées au Précambrien. Cette topographie exerce une influence considérable sur le climat de la zone.

### **2.1.6. Végétation**

La végétation subit une dégradation progressive sous l'emprise des activités agricole. Elle est réduite à une savane arborée, avec une importante strate d'arbustes et un tapis de graminées (de Souza, 1988 ; Bio Bigou, 1989, Le Barbe *et al.*, 1993) qui freinent le ruissellement (Vissin, 2007).

Les espèces telles que: *Adansonia digitata* ; *Parkia biglobosa* ; *Combretum sp* ; et autres sont les plus répandues dans la zone. Les réserves du parc Pendjari sont constituées de savane arborées et arbustives à *Daniella Oliveri* au sein desquelles s'intègrent par endroits de savane arborée et de savane arbustive saxicole à *Vitellaria paradoxa*. On y note également la présence des forêts claires et savane boisée à *Anogeissus leiocarpus*. Au long de la Pendjari et de ses affluents, on observe des forêts galeries dominées par des espèces comme *Diospyros santalinoides*, *Sizygium guineenses*.

### **2.1.7. Sols**

Les sols de la zone d'étude présentent des variations verticales et latérales. On y rencontre les unités suivantes:

- les zones de raccordement entre les collines,
- les plaines alluviales,
- les cuvettes et les bas-fonds.

Les caractéristiques de ces sols permettent de distinguer :

- les sols ferrugineux tropicaux des plateaux qui s'établissent sur des schistes, des micaschistes et des jaspes;
- les sols peu évolués d'érosion et moins profonds qu'on trouve sur des schistes et des micaschistes;
- les sols ferrugineux tropicaux des plaines alluviales qui se développent sur des matériaux alluvio-colluviaux ;

Ces sols sont généralement graveleux et peu cohérents. Ils sont très perméables et ne favorisent pas la rétention d'eau en surface.



## **2.2. Les réalités sociodémographiques et économiques**

Les populations du bassin du Niger au Bénin, et plus particulièrement celles de la commune de Kérou sont hétérogènes et en grande partie rurales. Celles-ci pratiquent diverses activités dont la culture de coton.

### **2.2.1. Peuplement et habitat**

La ceinture cotonnière de Kérou est peuplée d'une mosaïque de peuples dont les plus représentatifs sont les "Baatombu" qui représentent 70 % de la population, les "Fulbé" ou "Peulh" sont dans l'ordre de 20 %. A ceux-là, s'ajoutent d'autres groupes socio-culturels minoritaires tels que les "Yoruba", les "Dendi", les "Fon", les "Djerma", les "Haoussa", les "Gourmantché". Il y a aussi les "Boko" qui sont parmi les plus nombreux groupes socio-culturels qui habitent la commune.

Sur une superficie de 3745 km<sup>2</sup>, la population de la commune est estimée à 62 632 habitants en 2002 (RGPH<sub>3</sub>), cette population est estimée à 70369 habitants en 2010 selon les projections faites à partir des données de l'INSAE de 2002.

La diversité de la population de cette zone cotonnière est favorable au développement d'activités économiques notamment l'agriculture et l'élevage qui sont en général pratiquées avec des techniques rudimentaires.

Concernant l'habitation, il est de type traditionnel et est fait en terre de barre et est couvert en chaume. Les cases sont regroupées en concessions abritant plusieurs ménages à la fois dans les villages et les quartiers populaires de la ville. Parfois, ces populations s'installent en retrait du village et forment des campements qui se développent progressivement pour devenir de gros villages. Aussi, les retrouve-t-on sous forme de hameaux temporaires près des champs pendant la saison agricole.

### **2.2.2. Les activités économiques prédominantes**

Elles sont pratiquées essentiellement et spécifiquement par les différentes ethnies qui y habitent. Ainsi majoritairement, les "Batonnu" sont presque tous des agriculteurs. Cette activité est parfois, associée au tissage, au petit élevage de caprins, d'ovins et de volaille. Les Gourmantchés et quelques "Batonnu" quant à eux se livrent pour la plupart à la chasse clandestine (braconnage).

Les produits les plus cultivés sont: le maïs, le fonio, le mil, le sorgho, le coton, l'igname, le riz et d'autres produits maraîchers tels que: le gombo, le piment. Le brassage des Peuhls avec ces différentes ethnies font uniquement l'élevage de bovins. La pêche est pratiquée surtout par les étrangers burkinabés, togolais, maliens et quelques populations autochtones. Les groupes professionnels d'origines diverses sont surtout les fonctionnaires.

Les dix dernières années ont connu l'essor du coton qui est la principale culture de rente. Ce qui, par conséquent, nécessite de vastes espaces et de techniques culturales. Elle est la première source de revenus monétaires de ces populations. Les cultures vivrières et de rente se complètent et assurent aux populations la sécurité alimentaire et l'essentiel des revenus. Pour accroître leur rendement agricole les paysans, se prêtent à l'utilisation intensive et incontrôlée des produits phytosanitaires, ce qui sans doute, induit un problème de sécurité sanitaire dans la région. L'utilisation incontrôlée des produits phytosanitaires serait probablement due au fort taux d'analphabétisme, à l'insuffisance des encadreurs agricoles, à la libéralisation de l'approvisionnement en intrants agricoles.

### **2.3. Etat du sol et environnement**

Le paysage du secteur d'étude offre aujourd'hui à l'observation l'aspect d'un milieu naturel soumis à une extrême pression anthropique due à la production agricole. Les indicateurs agro-environnementaux illustratifs observés et cités par les populations sont la disparition de la végétation, la baisse de la fertilité des sols, l'intensification de la chaleur, la rareté des pluies de plus en plus irrégulières, la fréquence des aires dépourvues de couvert végétal, l'indisponibilité de nouvelles terres. Les pratiques agricoles, notamment les techniques culturales dues au coton conventionnel, sont les plus dégradantes de l'environnement de cette ceinture cotonnière.

Ce niveau avancé de dégradation du sol est due à la pression agricole est un facteur qui peut favoriser la détérioration de la qualité des nappes.

De 1990 à 2010, le nombre d'exploitants agricoles dans la ceinture cotonnière n'a cessé d'augmenter. Cette évolution n'est pas proportionnelle au nombre d'encadreurs sur le terrain. Cet écart entre les exploitants agricoles et les encadreurs pose le problème de l'utilisation non contrôlée des engrais et des pesticides.

Selon Ridley *et al.*, (1962) et Racz *et al.*, (1965), les engrais servent surtout à fournir 3 des 17 éléments essentiels à la croissance des plantes : l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium

(K). D'autres éléments moins souvent requis sont le soufre (S), le calcium (Ca), le magnésium (Mg), le fer (Fe), le cuivre (Cu), le manganèse (Mn), le bore (Br) et le zinc (Zn).

Relativement aux produits phytosanitaires, certains d'entre eux ont été autorisés de façon provisoire en 2008 (*Confère annexe*). En effet, plus de quarante-sept produits phytosanitaires sont agréés et autorisés pour la vente au Bénin. Mais, avant de chercher à retrouver leurs traces dans les eaux souterraines servant de boisson à la population de Kérou, il est important de connaître comment ces eaux sont devenues accessibles à la population.

## **2.4 Problématique de l'approvisionnement en eau potable et de l'assainissement au Bénin**

### **2.4.1 Approvisionnement en eau potable au plan national**

Même si en milieu rural la couverture en eau potable reste assez basse, l'accroissement du taux de moins de 10 % en 1980 à 46 % actuellement est remarquable. Ce taux tient compte des 15 % d'ouvrages en panne et sur la base d'un point d'eau pour 250 habitants (délivrant une consommation spécifique de 20 l/hab/j).

La situation oblige cependant encore plus de la moitié de la population rurale à s'approvisionner en eau aux marigots, à la rivière, aux puits non protégés ou à d'autres sources d'eau douteuses.

### **2.4.2 Assainissement**

Malgré les efforts au cours des deux dernières décennies, les conditions d'hygiène et d'assainissement de base de la population béninoise demeurent précaires. La situation est marquée par :

Un faible taux de couverture en ouvrages d'assainissement, notamment la gestion des excréta (15% en milieu rural et 62% en milieu urbain) et la gestion des eaux usées (proche de 0% en milieu rural et < 5% en milieu urbain) ;

Une méconnaissance des pratiques élémentaires d'hygiène ;

Une résistance au changement de comportement favorable à l'hygiène et à l'assainissement entretenue par les tabous et certaines pratiques socioculturelles.

On assiste à une réduction drastique de la fourniture d'infrastructures sanitaires, particulièrement dans les zones périurbaines et rurales. La population habitant ces zones est presque exclue des services publics pour la gestion des eaux usées, des eaux pluviales, des ordures ménagères, des excréta et des boues de vidange. Le système de collecte, d'évacuation

et de traitement étant peu opérationnel, les ordures sont évacuées dans les rues secondaires et parcelles vides, le taux d'évacuation des ordures est de 16% avec 21% en milieu urbain et 11% en milieu rural. Il n'existe pas de réseau collectif d'assainissement. Seulement 2 ménages sur 100 évacuent correctement leurs eaux usées, le reste s'en débarrasse dans la nature et les caniveaux. Il en est de même pour l'évacuation des boues de vidange.

### **2.4.3 Hygiène**

En matière d'hygiène, le lavage des mains après défécation et avant de manger n'est pas une habitude. Dans la grande majorité des cas (96%), les ménages ne disposent pas de produits nettoyants ou d'ustensiles pour se laver les mains. Au niveau national, l'incidence des maladies diarrhéiques est passée de 105‰ en 1995 à 121‰ en 1999 chez les enfants de moins de 5 ans. L'augmentation des infrastructures d'eau et d'assainissement ne se fait donc sentir que très peu dans les statistiques sur les maladies diarrhéiques.

### **2.4.4 Stratégies nationales de l'approvisionnement en eau potable et de l'assainissement en milieu rural**

Le secteur eau englobe l'hydraulique rurale, urbaine et l'assainissement ainsi que la gestion des ressources en eau. Cette recherche se consacrera essentiellement sur le secteur de l'alimentation en eau potable et de l'assainissement en zone rurale.

#### ***2.4.4.1 Eau potable***

Le Gouvernement de la République du Bénin s'est engagé depuis 1992 dans une nouvelle stratégie nationale du développement du secteur de l'hydraulique rurale. Cette stratégie, qui est mise en œuvre à travers des Programmes d'Appui au Développement du secteur de l'Eau et de l'Assainissement en milieu Rural (PADEAR) et basée sur l'approche par la demande.

#### ***2.4.4.2 Assainissement de base***

Les principes autour desquels s'articule la politique nationale de l'assainissement et de développement du sous-secteur correspondent plus ou moins avec ceux de la politique nationale d'hydraulique rurale.

En effet, la stratégie nationale en matière d'assainissement approuvée en 1995 par le Ministère de la Santé et le Ministère de l'Environnement s'appuie sur les cinq (05) principes fondamentaux suivants :

-La mise en place de structures institutionnelles durables et efficaces pour la gestion des services;

- La promotion de programmes d'assainissement élaborés à partir de la demande explicitement formulée par les communautés, à savoir latrines améliorées dans les écoles et centres de santé, et latrines familiales simples dans les villages;
- La participation des communautés au financement des ouvrages, à leur exploitation et à leur entretien;
- Le développement des compétences des artisans et des entrepreneurs locaux, l'établissement de structures simples, ainsi que l'engagement dans des campagnes de marketing (prolongées par la formation des maçons et autres artisans locaux dans ce domaine; l'objectif étant de créer une structure locale qui pourra elle-même promouvoir et faire construire les latrines) ;
- La promotion de technologies appropriées correspondant aux capacités financières et de gestion de l'Etat, des municipalités et communes et des bénéficiaires.

## **2.5 Situation de l'approvisionnement en eau potable dans le Département de l'Atacora**

Avec une superficie de 20.955 km<sup>2</sup> et une population d'environ 549.417 habitants selon le recensement général de la population de 2002, les neuf Communes du Département de l'Atacora disposent de 1661 équivalents points d'eau sur un besoin estimé à environ 2355 suivant la norme nationale d'un point d'eau pour 250 habitants. Soit une couverture totale théorique de 56% qui ne tient pas compte du taux de panne et de la dispersion de l'habitat.

## **2.6 Situation de l'approvisionnement en eau potable dans la Commune de Kérou**

Le centre ville de la commune de Kérou est couvert par la Société Nationale des Eaux du Bénin. Mais malheureusement très peu ont les moyens de s'abonner ou de s'approvisionner en eau au niveau des bornes fontaines de cette société.

Dans les centres périurbains ou dans les arrondissements ruraux, à peine une moyenne de 40% a accès à l'eau de consommation à travers les forages et les puits modernes (Tableau IV).

D'autres par contre continuent encore de s'approvisionner au niveau des sources douteuses que sont les puits traditionnels, les marres, les marigots ou les rivières.

**Tableau IV: Taux de couverture en ouvrages d'approvisionnement en eau potable**

Commune	Population	Besoin en PE	PM	FPM	Total EPE	Taux de dessert
Brignamaro	16 573	66	7	29	36	66%
Kérou rural	38 477	154	15	50	65	42,2%
Koabagou	3 712	15	1	3	4	26,6%
Firou	11 607	46	7	20	27	58,7%
Total	70 369	281	30	102	132	48,4%

---

Légende : PE : Point d'Eau ; EPE : Equivalent Point d'Eau ; PM : Puits Moderne ; FPM : Forage équipé de Pompe à Motricité humaine

Source : DG Eau, 2010

Il apparaît que dans la commune de Kérou, 48,40 % de la population ont accès aux ouvrages d'approvisionnement en eau potable.

Généralement, la population utilise les eaux des puits modernes et celles des forages pour la boisson, cependant ; les difficultés de puisage au niveau des forages (Photo 1) et la grande sollicitation des puits modernes (photo 2) obligent parfois certains usagers à se tourner vers les sources d'eau douteuses (photo 3).



Photo 1: Usage des forages par la population

Cliché : ELEGBEDE, Mai 2007.

La photo 1 montre une faible affluence au niveau des forages. Cette situation peut être due, soit à la cherté de l'eau au niveau des forages soit à la difficulté de manipulation .



Photo 2: Longue file autour d'un puits

Cliché : ELEGBEDE, Mai 2007.

La photo 2 prouve encore une fois que la corvée d'eau réduit considérablement le temps que les populations consacrent aux activités rémunératrices. Celles-là qui ne supportent pas la longue queue vont se ruer vers les sources d'eau douteuses ( photo 3), avec son cortège de maux que sont la diarrhée, le cholera, la fièvre typhoïde pour ne citer que ceux-là.



Photo 3: Usage des marigots comme eau de boisson

Cliché : ELEGBEDE, Décembre 2010.

La photo 3 montre un groupe de fillettes chargées de la corvée d'eau dans le village de Firou. Cet état de chose conduit à une déscolarisation des filles.

La description de la zone d'étude permet de retenir que l'environnement serait contaminé par les métaux lourds et des pesticides à cause des impacts de l'agriculture. Il est apparu que les ressources en eau potable que constituent les puits et les forages sont non seulement exposées à la pollution mais sont aussi sous forte pression de la population à cause de leurs nombres très réduits.

Dans ces conditions, il faut craindre, à travers la consommation de l'eau, une exposition des populations aux agents pathogènes liés à la pression humaine, aux métaux lourds et aux pesticides liés à l'agriculture et autres facteurs anthropiques.

Au regard de la description du milieu physique et humain favorable à la contamination des eaux, il convient d'asseoir les itinéraires méthodologiques pour l'atteinte des résultats.



## **CHAPITRE 3 : DEMARCHES METHODOLOGIQUES**

Le présent chapitre est consacré à la démarche méthodologique qui a servi à l'obtention et à la production de données ainsi que leurs traitements et analyses.

### **3.1. Composition de l'équipe de recherche**

Dans le cadre de cette recherche, les travaux ont bénéficié de l'appui de deux équipes. L'équipe est formée de deux techniciens de laboratoire qui sont chargés d'échantillonner l'eau et de faire des prélèvements de sang et d'urine au sein de la population. Un coordonnateur expérimenté du secteur de l'eau et de l'assainissement, compétent en alphabétisation a été recherché pour appuyer les activités d'enquêtes sur le terrain (Photo 4). Les travaux de terrain ont duré trois(03) mois (Février 2008-Mai 2008) et se sont déroulés dans les quatre arrondissements que compte la commune de Kérou.



Photo 4: Equipe de recherche sur le terrain

Cliché : ELEGBEDE, Décembre 2010.

### **3.2. Méthodologie de recherche**

Une étude analytique des différents facteurs exogènes qui contribuent à la contamination des eaux souterraines a été menée. Les collectes d'informations, les enquêtes de terrain, les observations libres et les analyses au laboratoire ont permis d'évaluer la pollution bactériologique et chimique de l'eau des puits et des forages de la commune et d'appréhender les éventuels risques liés à la consommation de cette eau.

### **3.2.1. Technique de collecte des données et informations**

Les informations ont été collectées au laboratoire de l'antenne régionale de la Société Nationale des Eaux du Bénin (SONEB) à Natitingou, à la Centrale de Sécurisation des Paiements et de Recouvrement (CSPR) pour la filière coton de la zone Nord (Parakou), au centre de documentation du CeRPA Atacora (Centre Régional de Promotion Agricole), au Service National de la Protection des Végétaux (SNPV). Les informations sur la situation des ouvrages d'hydraulique villageoise dans la commune de l'étude, ont été également recueillies auprès du chargé de la Banque de Données Intégrées (BDI) du Service de l'Eau de la Direction Départementale des Mines de l'Energie et de l'Eau de l'Atacora/Donga.

De même, à la Direction Départementale de la Santé, à la zone sanitaire de Kouandé et au Centre de Santé de la Commune de Kérou, des informations statistiques sur les types de maladies hydriques fréquemment enregistrées ont été obtenues. De la même manière, au Centre de Santé communal de Kérou, au Service d'Hygiène et de l'Assainissement de Base, les informations relatives aux comportements hygiéniques et à la couverture en latrines de la commune ont été recueillies.

Des informations sur la qualité de l'eau des ouvrages avant leur mise en consommation ont été obtenues au laboratoire de la Direction Générale de l'Eau (DG Eau) et à la direction des archives des programmes tels que la BID-Atacora, PADEAR- KFW/GTZ et du (PACEA).

Tous ces renseignements ont été analysés et croisés. Ce qui a permis de faire une analogie entre l'eau de consommation et les fréquentes maladies d'origine hydrique. Des recherches bibliographiques ont été faites au service de documentation de l'OMS.

#### ***Elaboration des outils d'enquêtes***

Des questionnaires et guides d'entretien ont été élaborés pour la collecte de données empiriques sur le terrain :

- les questionnaires à l'usage des ménages afin d'apprécier surtout les connaissances et pratiques en matière d'hygiène et d'assainissement et le degré de connaissance des risques d'exposition aux produits phytosanitaires ;
- le guide d'observations, des points d'eau et de l'hygiène corporelle;
- le guide pour les entretiens de groupes (Focus Group Discussion) afin de recueillir des données qualitatives en vue de compléter les observations et entretiens individuels.

### **3.2.1.1. Formation des enquêteurs et pré-test des questionnaires**

Pour harmoniser la compréhension des questions et leur traduction dans les trois importantes langues locales, une formation a été organisée à l'intention des collaborateurs de l'enquête. Au cours de cette formation, certaines questions mal comprises ont été explicitées.

### **3.2.1.2. Enquêtes de terrain**

Grâce aux questionnaires ainsi élaborés, des enquêtes de terrain ont été facilement menées. Les investigations ont été menées auprès des Comités de Gestion des Points d'Eau (CGPE), des usagers de l'eau tant dans la zone urbaine couverte par la SONEB que dans la zone rurale desservie par le Service de l'Hydraulique. Ces questionnaires ont été également adressés à l'Union Départementale des Producteurs (UDD) de coton et à ses structures déconcentrées dans la Commune de Kérou. Il s'agissait des interviews libres à des groupes cibles.

### **3.2.1.3. Entretiens**

Dans le cadre des entretiens, les principales unités de recherche ont été les ménages représentés par les chefs de ménage et leurs épouses. Ils sont interrogés séparément, les épouses sont écoutées en premier lieu sur les problèmes de l'hygiène et de l'approvisionnement en eau du ménage. Quant aux hommes, ils sont surtout concernés par les questions relatives à l'usage des intrants agricoles. Dans chacun des villages ou quartiers de ville, il a été réalisé au total :

- 30 entretiens individuels ;
- 30 observations de ménages ;
- 02 entretiens de groupe (*focus group discussion*) ;

Quant à l'équipe de prélèvement :

- 30 prélèvements de l'eau de puits ont été réalisés ;
- 30 prélèvements de l'eau de forages ont été réalisés.

#### **3.2.1.4.1. Entretiens individuels**

Les entretiens individuels ont été réalisés pour collecter les informations auprès des ménages. Ainsi, on a pu recueillir des données relatives aux connaissances des personnes vivant au sein des ménages et comprendre leurs pratiques en matière d'hygiène de base, corporelle et d'assainissement. Cette technique a, par ailleurs, permis de tester la véracité des informations recueillies au niveau des groupes de discussion. Aucune difficulté majeure n'est apparue au

cours de l'administration des questionnaires individuels au sein des ménages et relativement aux observations.

#### **3.2.1.4.2 Entretiens de groupe**

Cette technique a été mise à contribution afin de compléter et clarifier les données recueillies au sein des ménages. Elle a également permis de comprendre les mécanismes de communication au niveau de chaque localité. Des groupes homogènes (selon le sexe) ont été constitués afin de permettre à chacun de s'exprimer plus librement. Grâce à cette technique, il a été procédé au diagnostic participatif des problèmes et à l'identification des solutions possibles. Elle a permis aussi d'avoir une idée sur l'état de connaissances générales des maladies liées à l'eau au niveau de la communauté. Cet entretien permettra certainement de savoir si la communauté établit un lien entre l'eau souillée bue à la veille et la diarrhée ou la colique qui en découlent le jour suivant.

#### **3.2.1.4.3 Observation libre ou directe**

Des observations libres ou directes effectuées ont permis de vérifier les informations recueillies par questionnaire à partir des faits et pratiques observables directement, tels que le lavage des mains, le puisage, l'hygiène corporelle, le stockage et le traitement de l'eau, l'entretien des concessions et l'assainissement individuel et collectif. Elle permettra de mieux caractériser réellement les points d'eau exposés à la contamination par les produits phytosanitaires ou par les mauvaises pratiques d'hygiène et d'assainissement.

### **3.2.2 Protocole de prélèvement des échantillons**

Le prélèvement des échantillons d'eau en vue d'analyses physico-chimiques et le dosage qualitatif et quantitatif de sang et d'urines (technique de prélèvement) sont des opérations très délicates ; car nécessitant beaucoup de soins. Elles conditionnent les résultats analytiques et par voie de conséquence, l'interprétation qui en sera donnée.

#### **3.2.2.1. Prélèvement de l'eau**

Les échantillons d'eau prélevée doivent être homogènes et représentatifs de l'ensemble des eaux sélectionnés. Ils ne doivent pas perdre leurs caractéristiques physico-chimiques (pH, conductivité) avant l'analyse.

Les prélèvements ont été effectués par point d'eau durant les mois de juillet-août et novembre-décembre qui correspondent respectivement à la saison des pluies et à la saison sèche. Il s'agit donc de deux séries de prélèvements distincts.

#### **- Eaux de puits et de forages**

Les eaux sont prélevées au moyen des flacons stériles en verre de 2 litres pour les analyses chimiques et 500 mL pour les analyses bactériologiques. Ces flacons en bouteilles disposent d'un bouchon en polystyrène auquel est attaché un fil qu'on tire pour le déboucher (un nœud a été fait à chaque mètre pour évaluer la profondeur de l'immersion surtout dans le cas des forages où cette opération a été très pénible). On retire le flacon de l'eau après qu'il soit rempli. En outre, la technique de prélèvement de l'eau des forages est celle utilisée par Di Benedetto *et al.* (1997). Elle consiste :

- à laisser l'eau couler pendant 10 minutes de fonctionnement avant le prélèvement de l'échantillon ;
- à continuer le prélèvement de l'eau jusqu'à ce que le volume de la bouteille ait été remplacé trois fois, afin de ne pas incorporer de bulles d'air (photos 5).



Photo 5: Prélèvement d'eau de forage *in-situ* à Kossou Ouinra

Cliché : ELEGBEDE, décembre 2010

Pour les prélèvements, il est retenu l'utilisation simultanée de bouteilles en matière plastique (pour les échantillons destinés aux analyses physico-chimiques, bactériologiques et des métaux), et des bouteilles en verre pour les échantillons destinés aux analyses de pesticides.

Cette précaution vise à éviter une éventuelle contamination des échantillons destinés aux analyses des pesticides par la matière polyéthylène. Un grand soin a été apporté aux flacons en

matière plastique car, leur réemploi peut poser des problèmes de contamination si le nettoyage n'est pas suffisamment fait avant l'échantillonnage.

Au total, 30 échantillons d'eau de puits ont été prélevés et 18 échantillons d'eau de forage ont été également prélevés en saisons pluvieuse et en saison sèche.

#### **- Eaux de surface**

Pour les eaux de surface, les prélèvements ont été effectués de façon représentative, selon la technique de Di Benedetto *et al.* (1997). Cette technique permet de prélever les échantillons d'eau aussi près possible des sources de pollution : à la surface, au milieu et en profondeur dans la rivière Mékrou.

Ainsi, trois (03) prélèvements ont été réalisés en période pluvieuse et trois (03) autres en période sèche.

En pratique, les bouteilles sont bien lavées à l'eau acidulée et rincées plusieurs fois avec de l'eau distillée. Elles sont ensuite stérilisées à l'autoclave. Sur le terrain, elles sont rincées trois fois avec l'eau à prélever puis remplies de cette eau; une fois remplies, elles sont nettoyées, enveloppées dans du papier aluminium pour éviter la pénétration de la lumière qui pourrait modifier certains paramètres physico-chimiques de l'eau tels que l'ammonium et les nitrites. Elles sont étiquetées et placées au frais à 4°C) dans une glacière contenant des accumulateurs de froid pour les analyses au laboratoire.

Les paramètres physico-chimiques sont dosés au plus tard soixante-douze heures après le prélèvement, cela permet d'éviter une inter-conversion important entre les différents paramètres recherchés.

Par ailleurs, il faut souligner que les différents prélèvements d'eau ont été effectués à travers la prise des coordonnées géographiques (photo 6) dans plusieurs zones du secteur d'étude.



Photo 6: Prise des coordonnées géographiques à Kossou Ouinra

Cliché : ELEGBEDE, décembre 2010

La photo 6 montre les opérations de prise de coordonnées géographiques dans les différentes localités indiquées sur la figure 8.





**Figure 8 :** Localisation des sites de prélèvement  
*Source :* ELEGBEDE, 2011

Dans la commune de Kérou, l'eau a été prélevée à plusieurs endroits. Ceci, en vue de percevoir correctement le phénomène de la contamination.

### 3.2.2.2. Prélèvement des échantillons biologiques

L'enquête a été menée au cours des mois de juillet et de décembre 2010 sur un échantillon de 23 cas pris au hasard dans des villages environnants des champs de coton ou éloignés des champs de coton (villages de Kossou Ouinra, Wohoré, Firou, Brignamaro), mais utilisant soit l'eau du fleuve ou l'eau des forages comme eau de boisson.

#### ➤ Prélèvements, identification, traitement et conservation des échantillons biologiques

Le sang et l'urine sont les liquides biologiques analysés. Les personnes choisies selon un échantillonnage accidentel ont tous été prélevés après un entretien (par questionnaire joint en annexe) au terme duquel, leur consentement éclairé était recueilli. Tour à tour chacun d'eux a reçu un flacon propre en plastique pour le recueil des urines.

Les prélèvements de sang (Photo 7) ont été faits à jeun par piqure veineuse grâce à la méthode Vacutainer (prélèvement sous vide). Deux tubes de 5 mL à anticoagulant (EDTA) et un tube sec de 5 mL ont été utilisés par personnes. Ces échantillons sanguins correctement identifiés (par un code anonyme) ont été acheminés en milieu de journée pour centrifugation (à 2000 g pendant 15 mn), séparation des sérums et conservation à 4 °C (réfrigérateur du Centre de Santé Communal). Tous les tubes d'aliquotage, les flacons d'urine et les fiches d'enquêtes relatifs à une personne portaient le même code anonyme jusqu'à la fin de l'étude. Le transport des échantillons ainsi traités s'est fait dans une glacière thermoconservatrice à 4°C environ avant d'être placés à - 20 °C dès l'arrivée au laboratoire à Cotonou.



Photo 7: Prélèvements du sang  
Cliché : ELEGBEDE, décembre 2010.

### ➤ Techniques de dosages des paramètres sanguins

Les analyses de sang ont été réalisées suivant les protocoles Elitech (Clinical System) certifié par la Communauté Européenne de Normalisation. Un Spectrophotomètre d'Absorption Moléculaire de marque Erba Chem 7 a été utilisé au laboratoire de l'Hôpital de Zone d'Abomey-Calavi.

- Concernant le dosage de la cholestérolémie totale, la méthode est enzymatique, colorimétrique et en point final (500 nm).

- Pour la calcémie, il s'agit d'une méthode colorimétrique et complexométrique en point final (600 nm).
- Le dosage de l'urémie répond à une méthode cinétique, enzymatique en UV (340 nm).
- La créatinémie a été mesurée par la méthode colorimétrique et cinétique de Jaffé (500 nm).

Toutes les manipulations ont été validées par l'utilisation du sérum multiparamétrique Elitrol 1 de marque Elitech.

Le calcium urinaire a été dosé avec le même réactif que dans le sang. Les valeurs de référence utilisées pour l'interprétation de chacun des paramètres sont tirées de Blague-Belar *et al.* (1991) et de Loko (2001).

### 3.2.3. Analyses

Elles concernent les paramètres physico-chimiques, les métaux lourds et les pesticides.

#### 3.2.3.1. Analyse physico-chimique des eaux

Les analyses physico-chimiques, le dosage des métaux toxiques et le dosage des pesticides ont été effectués en laboratoire. Cependant, il convient de mentionner que certains paramètres physico-chimiques courants furent mesurés sur le terrain, car susceptibles de variations au cours du transport. Les mesures physico-chimiques sont effectuées *in situ*. Ce sont les mesures effectuées au moyen des appareils portatifs et des bandelettes.

Les mesures physico-chimiques au Laboratoire

- Les Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) : La présence excessive des nitrates dans l'eau indique une pollution. Dans les eaux naturelles une valeur supérieure à 3 mg/L indique un début de pollution des milieux. Les nitrates n'ont pas une toxicité directe. Néanmoins, ils sont indirectement toxiques du fait qu'ils peuvent se transformer en Nitrites qui sont plutôt toxiques. Dans le cadre de l'étude, les nitrates ont été dosés par absorption à 400 nm au spectrophotomètre DR\200 dont la gamme de mesure varie entre 0 et 4,5 mg/L.
- les Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) : la présence des nitrites dans l'eau indique également une pollution organique; ils sont très toxiques. Au cours de l'étude, ils ont été mesurés par absorption à 507 nm au spectrophotomètre DR\2000 HACH dont la gamme mesurée est de 0 à 0,3 mg/L.

- l'Ammonium ( $\text{NH}_4$ ) : la présence de l'ammonium indique une contamination des eaux. On a pu doser au cours des études la teneur en ammonium par absorption à 425 nm au spectrophotomètre DR\2000 HACH dont la gamme de mesure est de 0 à 2,5 mg/L. Des dilutions au 1/10 et au 1/20 ont été effectuées sur les échantillons trop concentrés également.
- le Phosphate ( $\text{PO}_4^{2-}$ ) : le phosphate est fréquemment détecté dans les eaux avec une teneur assez élevée. Sa présence est due à la décomposition des matières organiques. Au cours des analyses, le phosphate a été mesuré par absorption à 890 nm au spectrophotomètre DR\2000 HACH avec une gamme de mesure de 0 à 2,5 mg/L.
- Le Sulfate ( $\text{SO}_4$ ) ; la présence de sulfate dans l'eau indique également une pollution. La mesure du sulfate a été effectuée par absorption à 450 nm au spectrophotomètre DR\2000 HACH dont la gamme de mesure est de 0 à 70 mg/L.

Afin de faire une bonne lecture, des dilutions au 1/10 et au 1/5 ont été effectuées sur les échantillons concentrés.

### **3.2.3.2. Analyse des métaux toxiques et des pesticides dans l'eau**

Les résultats de la présente étude ont été obtenus à travers l'analyse des métaux toxiques et des pesticides contenus dans l'eau.

#### **3.2.3.2.1. Méthode d'analyse des métaux toxiques**

Les concentrations totales en métaux lourds ont été mesurées par Spectrophotométrie d'Absorption Atomique (SAA) par émission de flamme, ICP-AES par ICP-MS (Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry) qui présente l'avantage d'une analyse multi-éléments (Devez, 2004). Les métaux toxiques (plomb, cadmium, zinc, cuivre, nickel et le fer) sont analysés au laboratoire de Gestion, de Traitement et de Valorisation des Déchets (GTVD) de l'Université de Lomé par le spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme, selon les protocoles de Anane *et al.* (1995) et Vaidya et Rantala (1996).

La spectrophotométrie d'absorption atomique est définie comme l'absorption d'une énergie de rayonnement par les atomes. Cette absorption est en relation avec la concentration des ions métalliques présents, soit un atome métallique à l'état énergétique fondamental ( $E_0$ ). Cet atome reçoit une énergie provenant d'un rayonnement ( $I_0$ ) un électron périphérique passe de son orbite normale ( $E_0$ ) à une orbite plus externe d'énergie  $E$  avec :

$$E = E_0 + h\nu.$$

L'absorption d'un photon d'intensité  $I_0 = h\nu$  est à la base de la spectrophotométrie d'absorption atomique. Après absorption, l'énergie incidente  $I_0$  devient  $I < I_0$ , c'est cette diminution d'énergie qui est mesurée dans la spectrophotométrie d'absorption atomique. La diminution de l'intensité du rayonnement transmis peut être représentée par la loi de Beer-Lambert :  $I = I_0 \cdot e^{-(kcl)}$

$I$  = intensité du rayonnement transmis ;

$I_0$  = intensité du rayonnement incident ;

$k$  = coefficient d'absorption ;

$c$  = coefficient en atomes ;

$l$  = longueur du chemin parcouru par le rayonnement à travers l'échantillon

Absorbance  $A = \log I_0/I = kcl$  (9)

Il y a diminution du nombre d'atomes à l'état fondamental qui sera proportionnelle à la concentration du milieu en atome absorbant. L'absorbance est proportionnelle au nombre d'atomes à n'importe quelle température et longueur d'onde. Mais les éléments doivent être à l'état de traces pour être dans la limite de Beer-Lambert.

### ➤ *Appareillage et réactifs*

L'ensemble de l'appareillage et des réactifs utilisés pendant le dosage spectrophotomètre d'absorption atomique au laboratoire de GTVD de la Faculté des Sciences de Lomé, comprend essentiellement:

- Four électrique ;
- Spectrophotomètre d'absorption atomique (AAS) marque Thermo Orion assistée du logiciel Solaar S2 ;
- Lampes à cathode creuse pour Pb, Cd, et As ;
- Un ordinateur enregistreur relié à une imprimante ;
- Fioles jaugées de 50 mL et de 100 mL ;
- Pipette automatique ou micropipettes, pour la préparation des étalons d'analyse ;
- Digesteur ;
- Pipette à volume réglable, de 1 à 5 mL muni d'un aspirateur en caoutchouc ;
- Flacons de stockage de 125 mL et des embouts jetables ;
- Acide nitrique ( $\text{HNO}_3$ ) concentré (65 %) ;
- Eau déminéralisée ;
- Peroxyde d'hydrogène (32 %) ;

- Étalons de référence pour Cd, Pb et As ;
- Balance électronique marque SCHIMADZU type BX 3200 D ;
- Mortier et pilon en silice ;
- Calculatrice et chronomètre ;
- Chiffons de laboratoire.

### ➤ *Préparation des solutions étalons*

Les solutions étalons sont préparées à partir de solutions aqueuses étalons des mêmes métaux, de même concentration acide que les échantillons, afin de minimiser l'effet de matrice. La concentration de toutes les solutions mères commerciales (étalons de référence) est de 1000 ppm, afin d'en assurer la stabilité

Les étalons préparés étaient :

- Pb et Cd: 1, 2 et 4 ppm ;
- As : 10, 20 et 30 ppm.

Le tableau V ci-dessous résume les résultats de la préparation des étalons.

**Tableau V: Concentrations des étalons**

N°	Etalon de référence (ppm)	Volume final (mL)	Volume prélevé (mL) et Etalon final (ppm)					
			Pb		Cd		As	
			V. Prélevé	C. finale	V. Prélevé finale	C.	V. Prélevé finale	C.
1	1000	50	0,05	1	0,05	1	0,5	10
2	1000	50	0,1	2	0,1	2	1	20
3	1000	50	0,2	4	0,2	4	1,5	30

Il a été réalisé un étalonnage selon les normes exigées par la Directive 2001/22/CE de la Commission du 8 mars 2001. La concentration des étalons a couvert la gamme des concentrations des échantillons qui sont mesurés, et le nombre d'étalons est lié au nombre de métaux à doser. Un blanc pur fut aussi préparé pour vérifier la qualité des échantillons. Il est constitué de 5 mL de peroxyde d'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) + 5 mL d'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>).

Il est à remarquer que les échantillons d'eau n'ont pas été minéralisés.

### **3.2.3.2.2. Méthode d'analyse des pesticides**

Le souci de mettre au point des techniques analytiques plus appropriées s'est vite fait sentir; ces techniques permettent de les mettre en évidence, de les doser et de suivre leurs effets sur les

différents compartiments de l'environnement. Ces analyses ont été faites au laboratoire de l'IRGIB-Africa à Cotonou au Bénin.

Il existe plusieurs techniques analytiques permettant de suivre les pesticides dans l'environnement. Les plus courantes qui permettent des contrôles de routine et d'accéder aux molécules individuelles sont la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CPG-5M ) et la chromatographie en phase gazeuse couplée au système de détection à capture d'électrons (CPG- ECD), placées en aval de l'extraction liquide-liquide ou liquide-solide des échantillons. La méthode d'analyse par CPG-SM qui permet de détecter tous les composés recherchés a été retenue. Elle permet d'analyser, grâce à sa sélectivité, une gamme appréciable de composés organiques. Son utilisation comporte un certain nombre de difficultés qu'il convient de surmonter au préalable, à savoir:

- certains pesticides tels que les organochlorés et les polychlorobiphényles (PCBs) forment un mélange complexe avec d'autres substances organiques du milieu;
- certains composés non organochlorés répondent aussi au détecteur à capture d'électrons; parmi eux, on peut citer les composés oxygénés, les molécules insaturées et les esters phtaliques que l'on rencontre aussi dans l'environnement;
- les PCBs constituent une source potentielle d'interférences au cours de l'analyse des pesticides organochlorés. La présence de PCBs se traduit par un grand nombre de pics partiellement ou non résolus et qui peuvent apparaître à travers tout le chromatogramme;
- les composés recherchés existent presque partout dans la nature, et peuvent contaminer les échantillons à toutes les étapes de l'analyse;
- ces composés sont souvent présents sous forme de traces dans les échantillons et il est difficile de les identifier lorsque le détecteur utilisé n'est pas suffisamment sensible;
- ces composés comme par exemple le DDE et la Dieldrine d'une part, le DDD et l'Endosulfan d'autre part, interfèrent et il se pose le problème de leur identification individuelle sur les chromatogrammes.

Cependant, cette technique a été utilisée au cours des travaux.

Pour surmonter les difficultés sus énumérées, l'étude s'est proposé de prendre un certain nombre de dispositions pratiques qui sont développées infra et qui concernent les étapes de prétraitement spécifique sur colonne ouverte. La photo 8 montre des flacons de pesticides stockés à l'air libre.

Cette exposition constitue un risque de pollution en période pluvieuse à travers l'infiltration des eaux polluées.



Photo 8 : Stockage de pesticides

Cliché : ELEGBEDE, décembre 2010

Les formules moléculaires suivantes permettent de reconnaître quelques pesticides rencontrés :

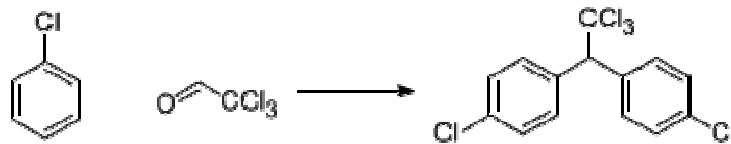


Figure 9 : Molécule de DDT

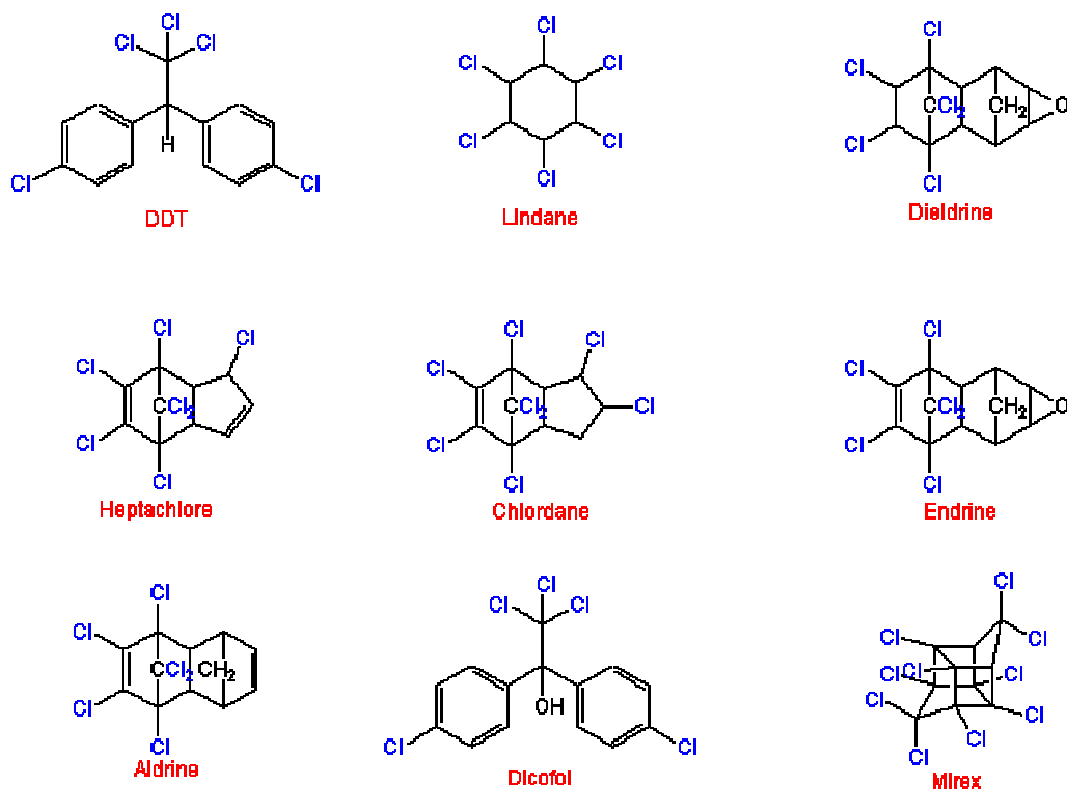


Figure 10: Dérivés du DDT



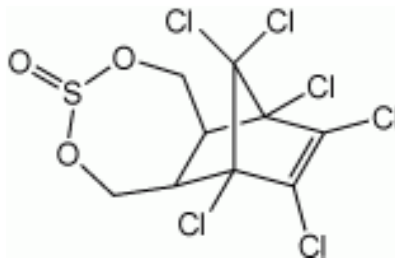


Figure11: Molécule d'endosulfan

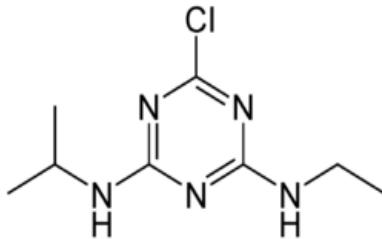


Figure 12: Molécule d'atrazine

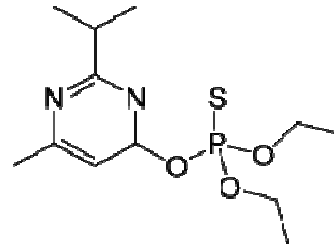


Figure 13: Diazinon

D'un autre côté, il faut remarquer que dans la zone d'étude, certains forages sont érigés dans des champs cultivés. La photo 9 illustre cet état de chose qui conduit à des risques sanitaires majeurs liés à la consommation des eaux de boisson.



Photo 9: Forages implanté dans un champ

Cliché : ELEGBEDE, décembre 2010

### 3.2.4. Estimation quantitative de l'exposition

Cette estimation doit croiser les niveaux de contamination de l'eau de boisson en métaux lourds et en pesticides analysés aux quantités d'eau consommées alimentaires par un échantillon de la population. Le premier volet, concerne les dosages des métaux et des pesticides dans l'eau (photo 10) tandis que le second volet est relatif au recueil d'informations sur la consommation de l'eau.



Photo 10: Analyses des métaux au laboratoire de l'Université de Lomé au Togo

Cliché : ELEGBEDE, décembre 2010.

#### **3.2.4.1. Enquête sur la consommation de l'eau de boisson**

Cette enquête a porté sur :

- le choix de la population d'étude : représentativité, composition, répartition et description ;
- le questionnaire pour la collecte de données ;
- la description des habitudes de consommation : fréquence et quantité consommée ;
- le recueil des avis et connaissance sur les risques liés à l'eau de boisson.

#### **3.2.4.2. Etude du degré de contamination de l'eau de boisson**

Ce niveau de contamination est connu par :

- la détermination des teneurs en métaux lourds et pesticides ;
- l'estimation par calcul de la dose journalière d'exposition (DJE) pour chaque métal et les pesticides;
- l'exposition des enfants ;
- la caractérisation du risque ;
- le calcul des quotients de danger (QD)

Les données de consommation issues du questionnaire de fréquence ont permis, par croisement avec les teneurs en éléments traces métalliques mesurées dans l'eau de boisson de calculer, une dose journalière d'exposition (DJE), dans le but de mieux caractériser les risques liés à la consommation de cette eau. Le quotient de danger est défini par le rapport entre la DJE observée en moyenne et la DJT correspondante.

Le calcul de la dose journalière d'exposition (DJE) pour chaque métal est basé sur la formule suivante :

$$\text{DJEe} = (\text{Qe} \times \text{Ce})/\text{PC}$$

DJEe : dose journalière d'exposition par l'eau en mg/kg/jour

Qe : quantité moyenne d'eau consommée

Ce : concentration moyenne du xénobiotique mesurée dans un échantillon donné en ppm

PC : poids corporel du consommateur en kg

Le quotient de danger est défini par le rapport entre la DJE observée en moyenne et la DJT correspondante, selon la formule :

$$\text{QD} = \text{DJE totale} / \text{DJT}$$

Avec QD = quotient de danger ;

DJE totale = dose journalière d'exposition totale en mg/kg/jour

DJT = dose journalière tolérable en mg/kg/jour

### 3.2.5. Identification des bio marqueurs d'exposition

Cette identification va croiser les données d'enquêtes sur les pathologies propres aux métaux lourds et pesticides enregistrées et le niveau de contamination de l'organisme des sujets enquêtés. Le niveau de contamination de l'organisme par les métaux lourds et les pesticides est connu par l'identification à travers les entretiens, les dosages, de paramètres bioindicateurs de toxicité. Il y a, entre autres, les analyses biochimiques du sang des enquêtés :

- le dosage de l'urée dans le sang ;
- le dosage de la créatinine dans le sang ;
- la transaminase ;
- le cholestérol total ;
- le calcium urinaire ;

L'urée et la créatinine sont des déchets du métabolisme qui renseignent sur la fonction épuratrice du rein, cible principale des métaux lourds et des pesticides. Toute substance néphrotoxique (lésion des tubules) même à court terme est susceptible de modifier les concentrations sanguines de ces deux déchets dans le sens d'une augmentation (ils sont réabsorbés dans les tubules lésés et retournent dans le sang, d'où leur augmentation).

Le calcium tout comme le fer sont en concurrence avec les métaux lourds (Pb, Cd, Hg) : toute présence excessive de ces oligoéléments dans les urines (ou les selles) peut être une preuve de

l'action des métaux qui auraient donc occupé la place de ces éléments sur les sites des enzymes qui seront donc inactives.

Les transaminases, enzymes du foie, augmentent pour témoigner de l'intoxication de l'organisme aux métaux toxiques, en particulier, le plomb et le cadmium.

Ces paramètres ont été dosés dans le laboratoire d'Analyses Biomédicales de l'Hôpital de Zone d'Abomey-Calavi.

### **3.2.6. Traitement des données**

Les résultats sont présentés sous forme de moyennes dans des tableaux et des graphes selon l'intérêt mis en évidence.

En effet, les questionnaires ont été manuellement et automatiquement dépouillés. Les données recueillies ont été traitées au moyen des logiciels Word 2007 pour la saisie et le traitement de texte ; Excel pour la réalisation des tableaux et des graphiques et Arc View GIS 3.2 pour les cartes.

Les données statistiques ont été rendues possibles par l'utilisation du logiciel SPSS 17 par le calcul des moyennes, la p-value et les tests statistiques. A cet effet, il a été procédé à l'étude de la normalité des séries statistiques des teneurs de plomb (deux séries au total). La question était de savoir si les deux séries sont distribuées suivant une loi normale. Si les 2 séries suivent une loi normale, alors le test de comparaison de moyennes de Student sur données appariées (test paramétrique) a été utilisé. Dans le cas contraire, un recours a été fait à un test non paramétrique (test de Wilcoxon sur données appariées).

Le test de normalité réalisé ici est le test de Shapiro-Wilk (Annexe). Les hypothèses à tester sont les suivantes :

Ho : La série suit une loi normale

Ha : La série ne suit pas une loi normale

Au seuil de 5 %, l'hypothèse alternative Ha est acceptée lorsque la p-value est inférieure à 5 % (0,05). Mais si la p-value est supérieure à 5 %, Ho est acceptée.

Dès lors, les conditions d'utilisation du test de Student sont vérifiées.

Ce test a été réalisé sur les données appariées (Annexe).

En outre, une seconde étude de la normalité des séries a été menée.

Il s'est agi de vérifier si les deux séries sont distribuées suivant une loi normale. Si les 2 séries suivent une loi normale, alors le test de comparaison de moyennes de Student sur données appariées (test paramétrique) sera utilisé. Dans le cas contraire, il sera fait appel au test non paramétrique (test de Wilcoxon sur données appariées).

Le test de normalité réalisé ici est également celui de Shapiro-Wilk. Les hypothèses à tester sont les suivantes :

$H_0$  : La série suit une loi normale

$H_a$  : La série ne suit pas une loi normale

Au seuil de 5 %, l'hypothèse alternative  $H_a$  est acceptée lorsque la p-value est inférieure à 5 % (0,05). Mais, si la plus value est supérieure à 5 %,  $H_0$  sera acceptée.

Les conditions d'utilisation du test de Student ne sont donc pas vérifiées. Le test de Wilcoxon sur données appariées a été mis à contribution (Annexe).

Eu égard à cette approche méthodologique adoptée, il convient donc de mettre un accent particulier sur les résultats obtenus et les interprétations qui en découleront. Il s'agira ensuite de mettre en parallèle les résultats trouvés avec ceux obtenus par d'autres auteurs.

## **CHAPITRE 4 : RESULTATS, DISCUSSION ET VERIFICATION DES HYPOTHESES**

Certains résultats obtenus dans le cadre de ce travail ont fait déjà l'objet de publications dans des revues à comité de lecture et d'autres sont en review ou sous presse. Ce chapitre présente donc ces résultats sous la forme de six articles, traitant chacun des objectifs spécifiques fixés par l'étude. Partant de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau consommée dans la zone cotonnière de Kérou, la recherche a ensuite mis l'accent sur la vulnérabilité des ouvrages hydrauliques, en l'occurrence, les forages et les puits par les métaux toxiques. Les explorations sont allées jusqu'à mettre en évidence plusieurs molécules de pesticides dans ces eaux souterraines laissant ouverte la discussion sur l'origine de toutes ces formes de pollution. Dès cet instant, une évaluation des risques sanitaires liés à la consommation de telles eaux par les populations s'impose. C'est dans ce cadre que des prélèvements de sang et d'urine ont été effectués pour la recherche de paramètres indicateurs de toxicité en particulier par les métaux au sein de la population après l'évaluation classique des risques d'exposition.

Par ailleurs, la présentation des résultats et discussions par l'entremise des publications est complétées par une vérification des hypothèses émises en amont.

## 4.1. Résultats et discussions

Cette section se présente en des livrables conçus en six publications et projets relatifs à la zone d'étude.

### 4.1.1 Publication n°1 : Qualité de l'eau des nappes et son impact sur la sante des populations à Kérou

EDORH A. P., GNANDI K., **ELEGBEDE MANOU B.**, ENONHEDO S. F. et BOKO M.

*Laboratoire d'Etude des Climats, des Ressources en eau et de la Dynamique des Ecosystèmes (LECREDE), Climat et Développement, 2007, 4:27-37.*

===@===

La pollution des nappes par les activités anthropiques étant un phénomène dynamique, les résultats obtenus dans cette étude qui a été effectuée en 2007 sur l'évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de puits et des forages dans la commune de Kérou servent de témoin à ceux qui suivront.

La contamination chimique et bactériologique des eaux échantillonnées en 2007 a permis de constater que les mêmes causes produisent les mêmes effets, et dans le cas d'espèce, la pression anthropique perceptible à travers l'agriculture et la pression humaine autour des points d'eau restent et demeurent les principales causes de détérioration de la qualité de l'eau de boisson dans la ceinture cotonnière de Kérou.



# Qualité de l'eau des nappes et son impact sur la santé des populations à Kérou

EDORH<sup>1</sup> A. Patrick, GNANDI<sup>2</sup> Kissao, ELEGBEDE MANOU<sup>3</sup> Bernadin, ENONHEDO<sup>4</sup>  
S. Frédéric, BOKO<sup>5</sup> Michel

<sup>1</sup>Département de Biochimie et de Biologie Cellulaire, Faculté des Sciences et Techniques (FAST), Université d'Abomey-Calavi (UAC), 03 BP 0994 Cotonou, Bénin.

<sup>2</sup>Laboratoire GTVD (Gestion, Traitement et Valorisation des Déchets), Université de Lomé, Faculté des Sciences, BP 1515, Lomé, Togo.

<sup>3</sup>Direction Départementale des Mines, de l'Energie et de l'Eau de l'Ouémé-Plateau, Service de l'Eau du Plateau, BP : 53 Kétou-Plateau, Bénin.

<sup>4</sup>Laboratoire de l'eau, Institut de Mathématiques et de Sciences Physiques (IMSP), UAC.

<sup>5</sup>Laboratoire d'Etudes des Climats, des Ressources en Eau et de la Dynamique des Ecosystèmes (LECREDE) de la Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines (FLASH)

**Auteur pour la correspondance** : 03 BP 0994 Cotonou-Bénin, Tél : 00 (229) 97 07 15 96 / 93 80 31 33,

E-mail: patrickedorh@yahoo.fr

## Résumé

*Cette étude a été réalisée pour appréhender l'impact des comportements anthropogéniques sur la qualité de l'eau de boisson dans la commune de Kérou. Dans cette commune les principales sources d'approvisionnement en eau sont les puits modernes, les puits traditionnels, les marigots, les mares et les forages.*

*Suite à des enquêtes menées dans les ménages pour mieux comprendre les phénomènes de la pollution, les prélèvements d'eau de puits et de forages ont été effectués et soumis à différentes analyses. Au total, 44 échantillons d'eau prélevés ont pris en compte tous les trente (30) puits modernes existants et les quatorze (14) forages.*

*D'après les résultats, la pollution chimique (nitrate, nitrite, ammonium, fer) et la pollution bactériologique (coliformes et streptocoques fécaux) ont été observées dans les puits alimentés par la nappe superficielle. Par contre l'eau de tous les forages n'a révélé aucune pollution, qu'elle soit chimique ou bactériologique.*

*Selon les enquêtes menées, les origines de la pollution peuvent être dues aux fertilisants utilisés dans les champs de coton ou peuvent provenir surtout d'une contamination par infiltration des matières organiques humaines et animales. Les facteurs de pollution sont probablement liés à l'absence de dispositifs d'assainissement appropriés, au manque de dispositifs adéquats de protection des puits, au mode de puisage, au mode de transport et de stockage de l'eau ou à défaut de dispositifs de la collecte des ordures ménagères.*

*Cette étude nous permet de conclure que l'eau des puits est impropre à la consommation. Les recommandations concernent notamment la vulgarisation des résultats du présent travail, le suivi annuel de la qualité de l'eau de tous les ouvrages, la réhabilitation systématique de tous les puits existants.*

**Mots clés** : Commune de Kérou - Culture cotonnière - Pollution - Maladies hydriques

## Abstract

*This study has been carried out to define the impact of the anthropogenic behaviours on the quality of the drinking water in Kérou municipality. In this municipality the main supplying sources of water are the modern wells, the traditional wells, the drillings and even the sources of dubious water like ponds.*

*Some surveys have been carried out in some couples to understand better the phenomenon of pollution. Water samples taken from the drillings and the wells are submitted to different chemical and bacteriological analysis.*

*In total, 44 water taking, including all the thirty (30) modern wells that exist and the samples of fourteen (14) drillings have been carried out and analyzed.*

*The results obtained have been treated and revealed that wells which water is supplied by the superficial sheet of water are chemically (nitrates, nitrites, ammonium, iron) and bacteriologically (coliforms, fecal streptocoques) polluted.*

*On the other hand, water from all the drillings that have been studied has not revealed any chemical or nor bacteriological pollution.*

*According to the surveys carried out, the origins of water pollution can be caused by the fertilizers used in the cotton fields or due to a contamination by seeping of human and animal organic materials.*

*Pollution factors are probably linked up to the shortage of the appropriate cleaning up device, to the lack of suitable device of the wells' protection, to the method of getting water, distribution and storage of water or to the shortage of the waste collection.*

*This study enables us to conclude that wells water is highly contaminated and then unfit for human consumption. The recommendations concern the accessibility of the results of the present work, the annual study of the quality of all the structures, the systematic restoring of all existing wells.*

**Key – words**: District of Kerou - cotton culture – pollution - hydric diseases.

#### **4.1.1.1- Introduction**

«Là où l'eau coule respandit la vie» dit-on. Mieux encore, «Là où l'eau finit, la vie finit». L'eau est l'aliment le plus abondant, indispensable, irremplaçable pour tout organisme vivant. Elle est une ressource stratégique et l'élément fondamental nécessaire à un développement économique, industriel et social. Elle doit être donc disponible non seulement en quantité mais et surtout en qualité.

On constate, avec l'augmentation galopante de la population mondiale, que la demande en eau augmente mais sa dégradation et son épuisement s'accroît. La communauté internationale en est consciente et cela justifie la prise de conscience autour de ce liquide appelé l'or bleu.

Le but visé par les rencontres internationales est de relever le niveau de santé et de faire régresser les maladies infectieuses véhiculées par l'eau.

Le Bénin s'est fixé pour objectif (décennie 1981-1990) l'alimentation en eau potable de 80 % de sa population. A la fin de cette décennie, cet objectif n'est atteint que de 50 % en milieu rural et de 24 % en zone urbaine.

Ceci, grâce aux vastes campagnes d'approvisionnement en eau potable et d'assainissement lancées avec l'appui des Partenaires Techniques et Financiers (PTF). Ces campagnes ont atteint des résultats probants qui ont permis d'éliminer certaines maladies hydriques (ver de Guinée et autres) et d'en réduire considérablement d'autres (diarrhée, choléra, etc.).

Or de nos jours, il est amer de constater que si dans le cadre des Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD) les activités de réalisation quantitatives de points d'eau intéressent prioritairement les autorités et les Partenaires Techniques et Financiers, celles relatives au suivi de la qualité de l'eau les préoccupent dans une moindre mesure et ont d'ailleurs très peu d'enjeu pour eux.

Dans le département de l'Atacora, certains puits ont été réalisés dans le cadre du Fonds Européen de Développement (FED) depuis les années 60 et 70. Ces puits depuis leur réalisation n'ont plus jamais fait l'objet de suivi de qualité et pourtant continuent de desservir en eau les populations. Cette situation nécessite qu'on s'y attarde pour y accorder un peu d'attention.

Cette situation nous amène à suspecter une éventuelle pollution des eaux qui peut être due à priori à une probable contamination de la nappe par les produits chimiques agricoles ou par les mauvaises pratiques d'hygiène et d'assainissement.

C'est donc pour infirmer ou confirmer ces allégations, que cette étude a été faite.

#### **4.1.1.2- Matériel et méthodes**

##### **4.1.1.2.1- Matériel**

Les prélèvements d'eau ont été effectués dans les quatre arrondissements de la commune de Kérou. Il s'agit de l'eau prélevée par la population au niveau des puits modernes et des forages.

#### **4.1.1.2.2- Méthodes**

Dans le cadre de cette étude, une enquête a été menée par deux équipes : la première est chargée des enquêtes de ménages et la deuxième chargée de prélever l'eau des puits et des forages.

Les échantillons d'eau ont subi des analyses physiques, chimiques et bactériologiques.

#### **4.1.1.2.3- Echantillonnage**

La commune de Kérou dispose de 132 points d'eau dont 30 puits à grand diamètre et 102 forages équipés de pompe à motricité humaine. L'échantillonnage a porté sur les 30 puits et 14 forages. Le choix des forages s'est fait au hasard selon la méthode des enquêtes développée par l'Université John HOPKINS aux Etats-Unis. Ainsi, un minimum de deux forages est retenu par arrondissement; ce qui a conduit à retenir 14 forages sur les 102 que compte la commune soit une représentativité de 14 % environ.

#### **4.1.1.2.4-Prélèvements de l'eau**

Les prélèvements ont été effectués par point d'eau durant les mois de Juillet–Août qui correspondent à la saison pluvieuse. Les eaux sont prélevées au moyen des flacons stériles en verre de 2 L pour les analyses chimiques et 500 mL pour les analyses bactériologiques. Ils sont lavés et rincés avec de l'eau distillée à chaque prélèvement. Une fois le prélèvement fait, ces flacons sont régulièrement étiquetés avec la date, l'heure et la température ambiante.

L'eau est prélevée à environ 50 cm du niveau statique (surface libre) du point d'eau selon qu'il s'agit de puits ou du forage.

#### **4.1.1.2.5- Analyses de laboratoire**

Les paramètres physiques mesurés *in situ* sont : la température, le potentiel d'hydrogène (pH), la conductivité électrique et the Total Suspended Solids (Total des sels dissous).

Les analyses chimiques ont été réalisées au laboratoire central de la Direction Générale de l'Eau (DGE) et concernent les paramètres suivants : ammonium (dosage réalisé à l'aide d'un spectrophotomètre DR/2000 HACH à 425 Dm dans la gamme de 0 à 2,5 mg/L), nitrates (spectrophotomètre DR/2000 à 400 Dm dans la gamme de mesure de 0 à 4,5 mg/L), nitrites (spectrophotométrie avec le réactif de Zambelli), phosphates (spectrophotomètre DR/2000 RACH dont la gamme de mesure est de 0 à 2,5 mg/L), fer (spectrophotomètre à 510 nm dans la gamme de 0 à 3 mg/L), manganèse (spectrophotomètre à 525 nm dans la gamme de 0 à 20 mg/L) et sulfates.

Pour le dosage des pesticides dans l'eau, on prélève 250 mL d'eau dans une ampoule à décanter, on ajoute 30 mL d'éther de pétrole, on agite pendant 15 minutes et on sépare les deux fractions. A la fraction on ajoute 15 mL de NaOH 1M (pH>9) qu'on soumet à une nouvelle extraction en y ajoutant 30 mL d'éther de pétrole. Les fractions d'éther de pétrole sont mélangées, puis on ajoute du sulfate de sodium et on concentre à environ 5 mL à l'aide d'un Kuderna-Danish. Les extraits sont déposés sur une colonne de silicagel désactivés et traités avec de l'éther de pétrole. L'élution de la colonne se fait avec de l'éther de pétrole/diethyl-éther (75/25 v/v).

Les analyses bactériologiques sont déroulées au laboratoire central de la DG Eau.

Il s'agit de faire une recherche présomptive des coliformes totaux sur le bouillon Mac Conkey et un dénombrement des colonies par millilitre après 24 à 48 heures d'incubation à l'étuve à 37° en milieu gélose nutritive pour la recherche des germes banals. L'identification des germes est faite par la galerie classique ou par la galerie API 20 E, la galerie API ST APH, la galerie API strepto et la galerie API non E.

1<sup>ère</sup> phase: Filtration sur membrane. Elle consiste à filtrer un volume d'eau connu à travers une membrane constituée d'un dérivé cellulosique ayant des pores de diamètre uniforme égale à 0,45 µm . Cette membrane estensemencée dans une boîte de pétri contenant un milieu de culture sélective et incubée à une température appropriée 37° C. Elle fournit directement le nombre de coliformes totaux et de coliformes fécaux contenus dans un échantillon d'eau donnée. Les milieux de culture utilisés sont : milieu Endo (Coliformes fermentant le lactose *E. Coli*), milieu EMB (les entérobactéries), milieu Slanetz (Streptocoques fécaux), milieu TSN (*Trypcase Sulfite Néomicyne* pour le *Clostridium perfringens*), le milieu Chapman (*Staphylocoque*), le milieu SS (*Salmonella-Shigella*).

2<sup>ème</sup> phase: Numération des colonies. L'examen des boîtes de pétri incubées pendant 24 à 48 heures est suivi d'une numération des colonies à la loupe de grossissement.

3<sup>ème</sup> phase: Identification des bactéries (Coliformes et autres entérobactéries). L'identification des coliformes et les autres entérobactéries est effectuée soit par API 20E soit par la galerie classique composée de cinq milieux de culture à savoir : le milieu *Kligler* , le milieu citrate, le milieu mannitol mobilité, l'urée, le milieu SIM (SH<sub>2</sub>, *indol*, mobilité).

Analyse des données : Les données ont été codifiées, saisies et analysées à l'aide des logiciels Excel, Epi info et SPPS pour Windows.

#### **4.1.1.3- Résultats**

Les résultats des analyses des paramètres Physiques sont consignés dans le tableau VI.

**Tableau VI:** Résultats récapitulatifs d'analyse des paramètres Physiques des puits en juillet 2006

N°	Arrondissement	Villages	Localité	pH	T °C	Conductivité	Turbidité
1	BRIGNAMARO	Bérékossou	Centre	6,96	26,5	342	0
2	BRIGNAMARO	Brignamaro	Sinwoukounon	7,31	26,8	414	0
3	BRIGNAMARO	Brignamaro	Yansarou	6,56	29,5	141	1
4	BRIGNAMARO	Gando-Baka	Centre	5,82	29,7	420	6
5	BRIGNAMARO	Ouinra	Centre	6,82	25,2	187	2
6	BRIGNAMARO	Yakrigorou	Bagoubagou	6,23	25,8	403	8
7	BRIGNAMARO	Yakrigorou	Centre	7,1	29,7	432	10
8	FIROU	Gori	Centre	6,8	27,8	427	2
9	FIROU	Gorobani	Petit marché	7,74	27,8	413	0
10	FIROU	Kabougourou	Centre	6,78	25,4	228	3
11	FIROU	Sokongourou	CCS Nord	6,38	26,1	406	0
12	FIROU	Sokongourou	CCS	6,89	26,9	309	0
13	FIROU	Sokongourou	Centre	6,9	26,5	286	1
14	FIROU	Sokongourou	Centre 1	6,4	26,5	451	1
15	KEROU	Bipotoko	Centre	6,77	27,8	403	12
16	KEROU	Bipotoko	Gougnènou	6,72	27,9	353	15
17	KEROU	Fètèkou	CCS	7,19	26,6	480	5
18	KEROU	Fètèkou	CCS Nord	6,7	27,2	410	2
19	KEROU	Fètèkou	Maréworou	6,34	27,4	237	5
20	KEROU	Fètèkou	Warou	6,28	27,3	409	4
21	KEROU	Fètèkou	Tingbahou	5,28	27,2	420	2
22	KEROU	Karigourou	Centre	6,27	25,6	412	8
23	KEROU	Kèrou-Wirou	Centre	6,69	29,7	222	2
24	KOABAGOU	Kparatégui	Centre	7,2	29,7	480	1
25	KOABAGOU	Pikiré	Koutoubogourou	7,18	29,6	405	0
26	FIROU	Pikiré	Pikiré II	7,05	29,6	310	3
27	KEROU	Pikiré	Rouga Camp peulh	7,26	29,1	266	16
28	FIROU	Sinagourou	Centre	6,65	28,7	422	1
29	FIROU	Wohoré	Koumarou	6,19	28,9	175	4
30	Kaobagou	Kaobagou 3	Kaobagou 3	7,84	25,2	406	2

NB : Les lignes en trame représentent les puits avec le système de protection (couvercle)

De ces résultats, il ressort que la température oscille entre 25,2°C et 29,7°C; le pH entre 5,28 et 7,84; la conductivité entre 175 µs/cm et 480 µs/cm; la turbidité entre 0 et 16.

Les résultats des analyses des paramètres Chimiques sont consignés dans le tableau VII.

**Tableau VII** : Résultats récapitulatifs d'analyses des paramètres chimiques des puits en juillet 2006

N°	Arrondissement	Villages	Localité	KMnO <sub>4</sub>	PO <sub>4</sub>	Mn <sub>2</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Fer tl
1	BRIGNAMARO	Bérékossou	Centre	0,74	1,16	0,01	53,8	0,01	0,20	0,05
2	BRIGNAMARO	Brignamaro	Sinwoukounon	0,75	0,89	0,0	3,96	0,01	0,09	0,03
3	BRIGNAMARO	Brignamaro	Yansarou	3,5	1	0,0	51	0,02	0,01	0,1
4	BRIGNAMARO	Gando-Baka	centre	0,81	1,2	0,0	3,08	0,04	0,00	0,2
5	BRIGNAMARO	Ouinra	Centre	3,2	1,54	0,0	51,4	0,01	0,01	0,2
6	BRIGNAMARO	Yakrigorou	Bagoubagou	0,81	0,45	0,02	1,32	0,01	0,04	0,17
7	BRIGNAMARO	Yakrigorou	Centre	3,2	1,26	0,0	50,3	0,03	0,10	0,1
8	FIROU	Gori	Centre	1,28	0,6	0,01	5,72	0,13	0,10	0,59
9	FIROU	Gorobani	Petit marché	3,17	1,01	0,02	52	0,24	0,00	0,22
10	FIROU	Kabougourou	Centre	2,37	1,06	0,0	50,4	0	0,03	0,04
11	FIROU	Sokongourou	CCS Nord	0,81	0,85	0,01	1,76	0	0,07	0,04
12	FIROU	Sokongourou	CCS	3,2	0,45	0,01	3,96	0,01	0,04	0,04
13	FIROU	Sokongourou	Centre	0,81	0,27	0,01	3,08	0,01	0,07	0,1
14	FIROU	Sokongourou	Centre 1	0,75	0,27	0,01	43,5	0,01	0,04	0,14
15	KEROU	Bipotoko	Centre	0,81	0,27	0,01	3,96	0,01	0,07	0,1
16	KEROU	Bipotoko	Gougnènou	0,81	0,06	0,01	4,4	0	0,09	0,07
17	KEROU	Fètèkou	CCS	1,05	0,46	0,02	6,96	0,01	0,05	0,5
18	KEROU	Fètèkou	CCS Nord	0,97	0,35	0,0	6,6	0,01	0,03	0,13
19	KEROU	Fètèkou	Maréworou	0,81	0,52	0,0	3,08	0,01	0,03	0,3
20	KEROU	Fètèkou	Warou	3,2	0,46	0,01	7,52	0,04	0,01	0,2
21	KEROU	Fètèkou	Tingbahou	0,81	0,32	0,01	9,68	0	0,07	0,05
22	KEROU	Karigourou	Centre	2,09	0,39	0,01	48	0,33	0,08	1,02
23	KEROU	Kèrou-Wirou	Centre	1,28	0,72	0,00	2,64	0,01	0,01	0,04
24	KEROU	Kparatégui	Centre	0,81	0,62	0,01	53,6	0	0,01	0,26
25	KEROU	Pikiré	Koutoubogourou	1,28	0,73	0,02	2,64	0	0,01	0,22
26	KEROU	Pikiré	Pikiré II	1,05	0,81	0,01	4,84	0,04	0,03	0,02
27	FIROU	Pikiré	Rouga Camp	1,28	0,52	0,0	50,7	0,05	0,16	0,12
28	KEROU	Sinagourou	Centre	0,74	0,63	0,02	50,2	0,02	0,15	0,2
29	KEROU	Wohoré	Koumarou	0,81	1,01	0,02	0,88	0	0,20	0,2
30	Kaobagou	Kaobagou 3	Kaobagou 3	3,2	1,54	0,01	53,9	0,15	0,61	0,2

NB : Les lignes en trame représentent les puits avec le système de protection (couvercle)

Les résultats des analyses des paramètres Physico-chimiques des forages sont consignés dans le Tableau VIII.

**Tableau VIII** : Résultats d'analyses de quelques paramètres Physico-chimiques des forages échantillonnés en juillet 2006

N°	Arrondissement	Localité	Localité	pH	T (°C)	Conductivité	Turbidité	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
1	Brignamaro	Bérékossou	Gando	6,8	27,1	367	15	9,8	0,01	0,20
2	Brignamaro	Bérékossou	Marché	7,8	26,7	258	1	3,96	0,01	0,09
3	Brignamaro	Bérékossou	Badémanou	6,2	26,5	342	0	5,5	0,02	0,01
4	Brignamaro	Bérékossou	EPP Bagou-Bagou	7,1	26,7	321	1	3,08	0,04	0,00
5	Firou	Baténin	Atacora	6,8	26,7	378	0	20,4	0,01	0,01
6	Firou	Baténin	Poriposouka	7,7	29,5	141	1	1,32	0,01	0,04
7	Firou	Firou	Marché	6,7	29,7	258	6	30,3	0,03	0,10
8	Firou	Firou	Marché	6,3	25,2	187	2	35,72	0,13	0,10
9	Kérou	Bakoussarou	Marché	6,8	26	264	8	25	0,14	0,00
10	Kérou	Bipotoko	Kpogourou	6,9	29,7	332	10	9,4	0	0,03
11	Kérou	Boukoubourou	Kpogourou	6,4	29,2	263	3	1,76	0	0,07
12	Kérou	Boukoubourou	Manou II	6,7	27,7	300	18	13,96	0,01	0,07
13	Kaobagou	Kaobagou I	Centre	6,7	27,7	260	2	3,08	0,01	0,04
14	Kaobagou	Kaobagou III	EPP	7,1	27,7	227	0	43,5	0,01	0,04

A l'issue de l'analyse au laboratoire, il est obtenu dans le tableau IX des données sur l'état bactériologique des puits de la commune.

Les 30 puits, objets de notre recherche contiennent tous des coliformes à des proportions variées.

**Tableau IX** : Répartition des puits selon les bactéries

N°	Arrondissement	Villages	Localité	<i>Escherichia Col</i>	<i>Salmonella ssp.</i>	<i>Shigella sp.</i>	Streptocoques Fécaux	<i>Vibrio cholera</i>
1	Brignamaro	Bérékossou	Centre	130	10	20	0	0
2	Brignamaro	Brignamaro	Sinwoukoun	10	20	0	10	0
3	Brignamaro	Brignamaro	Yansarou	20	0	10	0	20
4	Brignamaro	Gando-Baka	Gando-Baka	10	0	90	10	0
5	Brignamaro	Ouinra	Centre	90	10	0	20	0
6	Brignamaro	Yakrigorou	Bagoubagou	20	20	40	0	0
7	Brignamaro	Yakrigorou	Centre	20	15	10	20	0
8	Firo	Gori	Centre	10	0	90	0	10
9	Firo	Gorobani	Petit marché	20	0	0	0	0
10	Firo	Kabougourou	Centre	20	20	40	0	0
11	Firo	Sokongourou	CCS Nord	20	0	10	20	40
12	Firo	Sokongourou	CCS	10	0	0	0	0
13	Firo	Sokongourou	Centre	60	20	40	0	0
14	Firo	Sokongourou	Centre 1	10	20	40	0	0
15	Kero	Bipotoko	Centre	20	0	10	0	0
16	Kero	Bipotoko	Gougnènou	10	0	90	10	20
17	Kero	Fètèkou	CCS	10	0	0	20	0
18	Kero	Fètèkou	CCS Nord	10	20	0	0	0
19	Kero	Fètèkou	Maréworou	60	20	40	0	0
20	Kero	Fètèkou	Warou	250	0	60	10	0
21	Kero	Fètèkou	Tingbahou	10	0	0	0	0
22	Kero	Karigourou	Centre	280	60	0	20	0
23	Kero	Kèrou-Wirou	Centre	190	0	90	0	10
24	Kero	Kparatégui	Centre	10	20	40	0	0
25	Kero	Pikiré	Koutoubogo	30	0	70	0	0
26	Kero	Pikiré	Pikiré II	15	0	0	20	0
27	Kero	Pikiré	Rga camp	10	0	0	0	0
28	Kero	Sinagourou	Centre	10	20	10	0	0
29	Kero	Wohoré	Koumarou	10	20	10	0	0
30	Kaobagou	Kaobagou 3	Kaobagou 3	10	20	0	0	0

NB : Les lignes en trame représentent les puits avec le système de protection (couvreclle)

Les résultats des 30 ménages enquêtés se présentent comme suit :

Dix huit (18) ménages soit 60% défèquent dans la nature. Les puits disposent de margelles, soit 100 % des puits; 16,7% des puits n'ont pas de dalle anti-bourbier et plus de 76 % des puits inspectés sont à ciel ouvert.

La nappe phréatique est à une moyenne de 20m, par rapport au plan du sol. Ainsi, 86,6 % des puits ont une profondeur inférieure à 20 m. Six virgule six (6,6 %) des puits sont à moins de 10 m des latrines et 16,7 % des puits se trouvent à 15 m au moins des latrines. Dix pourcent des puits se retrouvent carrément dans les champs de coton. Les 90% des puits restants sont au moins à 10 m des champs de coton. Il est constaté que 100 % des ménages enquêtés jettent les ordures dans la nature.

Aussi on constate que 23,3 % des 30 ménages enquêtés s'approvisionnent au niveau des



puits modernes (Photo 11) pendant que 13,3 % continuent d'utiliser l'eau des puits traditionnels (Photo 12) pour l'eau de boisson. Il faut noter que 10 % des ménages enquêtés préfèrent encore consommer l'eau des marigots qui à leur avis à un bon goût par rapport à l'eau des forages (Photo 13).



Photo 11 : Mode de puisage courant

Cliché : Données de terrain) ; Août 2006



Photo 12 : Exemple d'un puits traditionnel utilisé pour l'eau de boisson

Cliché : PACEA /HELVETAS, Mars 2006



Photo 13 : Exemple de pompe UPM

Cliché : PACEA/HELVETAS, Août 2006

#### 4.1.1.4- Discussion

Les collectes d'informations, les enquêtes de terrain, les observations libres et les analyses au laboratoire ont permis d'évaluer la pollution chimique et bactériologique de l'eau des puits et des forages de la Commune de Kérou et d'appréhender les éventuels risques liés à la consommation de cette eau.

La plupart des puits enquêtés sont dans une insalubrité notoire. De plus la lessive, le bain des enfants et d'autres travaux domestiques s'exercent à proximité de ces ouvrages. Certains puits, situés aux voisinages des latrines ou à l'intérieur des champs de coton, sont exposés aux

manipulations multiples d'intrants agricoles ce qui affecte la qualité de l'eau des puits.

Les forages rencontrés sont équipés de deux types de pompe : UPM et pompe Vergnet. Il est rare d'observer des cas d'insalubrités autour des forages. Tous ces forages disposent d'un comité de gestion formé et suivi régulièrement par le service départemental de l'hydraulique de l'Atacora. Cependant, le risque de contamination de l'eau de ces ouvrages n'est pas nul compte tenu de l'intensité des activités agricoles et les règles d'hygiène et de stockages peu sécurisants de ces eaux dans les ménages.

La moyenne des pH est voisine de la neutralité et la moyenne des températures est proche de 28°C. Quant aux paramètres de conductivité leur moyenne oscille entre 300 µs/cm. L'eau de tous les puits étudiés a une turbidité normale. Ces résultats concernant la température se rapprochent de ceux obtenus par Aissi en 1992, Comlanvi en 1994 à Cotonou, Assani en 1995 à Grand-Popo, et Moukolon en 1993 à Brazzaville. Cette élévation de température peut être due au niveau statique (NS) de l'eau dans le puits, à la protection ou non des puits et/ou à des couches géologiques traversées. Selon Butterfield (1999), l'élévation de la température des eaux en milieu tropical, créerait des conditions favorables au développement d'activités microbiennes. On peut conclure que l'élévation de la température favorise la pollution des eaux.

Les résultats de l'analyse chimique des eaux prélevées au cours de l'étude, révèlent notamment la présence des éléments chimiques tels que les nitrates, nitrites, le fer et le manganèse, indice de pollution. Il ressort que 23,3 % des puits ont une teneur en nitrate qui dépasse les normes de 50 mg/L recommandées par l'OMS en matière d'eau potable. Il est également remarqué que 13,3 % des puits, soit quatre puits non protégés ont une teneur en nitrite qui dépasse la norme de 0,1 mg/L prescrite par l'OMS par contre tous les puits protégés ont une teneur en nitrite en-dessous de cette norme. Pour ce qui est de l'ammonium 3,3 % des puits, soit un seul puits non protégé a une concentration en ammonium dépassant les recommandations de l'OMS qui en aucun cas ne devrait dépasser 0,5 mg/L. Aussi, a-t-on constaté que tous les puits protégés ou non protégés ont une concentration de phosphate en deçà de la norme de 5 mg/L recommandée par l'OMS pour l'eau de boisson. Quant au fer total, 23,3 % des puits dont un puits protégé et 6 non protégés ont leurs concentrations au-delà du seuil de 0,2 mg/L recommandé en matière d'eau de consommation par l'OMS.

Tous les puits ayant fait l'objet de l'enquête ont une concentration en manganèse en-dessous du seuil qui est de 0,05mg/L et une oxydabilité dans les normes de 5 mg/L recommandées.

Au total, on soupçonne une pollution organique probable due aux déchets d'origine animale, humaine ou par les effluents chargés de fertilisants et de pesticides surtout organochlorés utilisés en agriculture (heptachlore, chlordane, endrine, aldrine, dieldrine, isodrine, endosufan, lindane, etc.). Ces résultats sont également similaires à ceux obtenus par Ndong en 1999 dans la zone cotonnière du Sénégal sur une échelle de 47 ans. Cet auteur conclut que les intrants agricoles apportent complémentaiement des matières azotées aux eaux souterraines.

Tous les puits présentent une contamination d'origine fécale avérée avec une présence de 100 % pour *Escherichia coli*, 50% pour *Salmonella Spp*, 33% pour Streptocoques fécaux, 63 % pour *Shigella Spp* et 16% pour *Vibrio cholerae*.

Tous les forages, objets de notre étude ont des paramètres chimiques et bactériologiques qui répondent aux normes de l’OMS. L’eau de ces ouvrages ne contient pas de coliformes.

En général, elle est à l’abri des maladies hydriques lorsque les règles d’hygiène et de stockage sont respectées et met les consommateurs en sécurité. C’est pourquoi ce type d’ouvrage doit être promu.

Les plus fréquents parmi les germes identifiés sont : *Escherichia coli* et coliformes pathogènes (causant des maladies) et non- pathogènes. Mais, même si elles sont non pathogènes et ne causent pas de maladies pour l’homme, leur présence montre qu’il y a un chemin pour d’autres bactéries fécales et très dangereuses comme *Vibrio cholerae* (l’agent infectieux du cholera), ou des Salmonelles (causant des diarrhées et gastro-entérites graves) ou *Salmonella Typhi* (agent infectieux de la fièvre typhoïde) et *Shigella* (agent infectieux de la dysenterie hémorragique) ou encore pour les bactéries telles que *Yersinia enterocolitica* (agent infectieux de la pseudo appendicite).

Les résultats ainsi obtenus confirment les études antérieurement menées par Dossa en 2002, Assouma en 2004, Comlanvi en 1994, Baba-Moussa en 1994, dans certaines villes du Bénin.

Ces résultats rejoignent également les enquêtes menées dans la sous région par Chippaux *et al.* en 2002 sur l’étude de la pollution de l’eau souterraine dans la ville de Niamey (Niger) où il a été conclu que «La nappe superficielle accessible par les puits présente une forte pollution azotée et une pollution bactériologique (coliformes et streptocoques fécaux) qui rend l’eau impropre à la consommation.

L’origine des pollutions peut être attribuée à diverses causes : « défaut d’assainissement et de collecte des ordures ménagères, transfert de polluants à partir des couches superficielles, conditions de puisage et structure des installations».

#### **4.1.1.5- Conclusion**

L’étude de la qualité de l’eau de puits et la pollution de la nappe dans la commune de Kérou, a permis de constater que les puits ne sont pas adaptés pour l’eau de consommation à cause de leur vulnérabilité. En effet, tous les puits ayant fait l’objet de cette étude sont pollués. Les résultats de nos travaux ont montré que les activités agricoles et l’insalubrité ont contribué à la contamination probable de la nappe phréatique à travers les puits étudiés. Quand bien même le cas des pesticides est pour le moment peu alarmant, la forte concentration en nitrate enregistrée dans l’eau de certains puits est un signal fort d’une contamination chimique évidente.

Quant à la pollution bactériologique qui a pour origine les mauvaises pratiques d’hygiène et d’assainissement, tous les puits étudiés contiennent des coliformes dont notamment *Escherichia coli*, les Streptocoques fécaux, les Salmonelles, *Shigella*, *Clostridium perfringens* et les Staphylocoques.

Par contre, l’analyse bactériologique de l’eau des forages échantillonnés montre que l’eau issue de ces ouvrages est potable et ne contient aucun germe pathogène. De même, l’analyse chimique de l’eau des forages a présenté des taux de concentration des substances chimiques

conformes aux réglementations en matière de l'eau de boisson. Eu égard aux résultats obtenus des analyses, le forage peut être recommandé pour l'alimentation en eau potable des communautés.

#### 4.1.1.6 Références bibliographiques

- Adanhoume K., 2000 : Pollution des sols des eaux superficielles et souterraines par les engrais chimiques. Possibilité de lutte contre une telle pollution dans le sud de la République du Bénin. *Mémoire de DEA-FLASH- DAC*, 106 P + Annexes.
- Aissi M. J., 1992 : Impacts des déchets domestiques sur la qualité de la nappe phréatique à Cotonou. *Mémoire de fin de formation DETS, CPU, UNS*, 69 p.
- Assani A., 1995 : Qualité et mode de gestion de l'eau de boisson dans la sous-préfecture de Grand-Popo. *Mémoire de maîtrise en santé publique, IRSP, UNE*, 129 p + annexes.
- Akuffo S.B., 1998 : Pollution control in a Developing Economy 2nd edition pp. 77-106
- Azehoun P. E., BOKO M., 2006 : Organochlorine and organophosphorous pesticide residues in the Ouémé River in the Ouémé river catchment in the Republic of Benin, *In Environnement International*, 32 : 616-622.
- Azehoun P. E., BOKO M., 2006 : Contamination of fish by organochlorine pesticide residues in the Ouémé River catchment in the Republic of Benin, *In Environnement International* , 32 : 594-599.
- Baba Moussa A., 1994 : Etude de la pollution bactériologique de la nappe phréatique à partir d'une latrines en Afrique subéquatoriale. *Thèse de doctorat ès sciences techniques. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne EPFL*, 252 p.
- Boko M., 2005 : Pollution de l'Environnement et santé Publique, Centre des Publications Universitaires (CPU) DLN°2819, 48-80.
- Boukari M., 1998 : Fonctionnement du système aquifère exploité pour l'approvisionnement en eau de la ville de Cotonou sur le littoral béninois: Impact du développement urbain sur la qualité des ressources. *Thèse d'état es sciences, UCAD de Dakar et Université National du Bénin*, 277 p + annexes.
- Butterfield, 1999 : L'élévation de la température et la qualité de l'eau dans le milieu tropical.
- Chippaux J-P., Houssier S., Gros P., Bouvier C., Brissaud F. (2002) : Etude de la pollution de l'eau souterraine de la ville de Niamey, Niger. *Bull. Soc Pathol Exot*, 94 (2) : 119-123.
- Chuzeville B., Plomb D., 1992 : Traitement d'un forage fortement pollué dans la région de Koudougou au Burkina-Faso, *Bulletin de liaison du CIEH*, 90 : 27- 35.
- Comlanvi F. M., 1994 : Amélioration de la qualité des eaux de puits dans la ville de Cotonou : Cas de quelques quartiers. *Mémoire de fin de formation DIT, Aménagement, protection de l'environnement, CPU, UNE*, 78 p.
- Assouma I.D., 2004 : Contribution à l'évaluation des risques liés aux usages domestiques de l'eau dans la commune de KANDI. *Mémoire de DESS, IMSP*, 69 p.
- Dossa., 2002 : Analyse et Esquisse cartographique de la contamination bactériologique de la nappe phréatique alimentant les puits traditionnels de la ville de Cotonou et sa banlieue. *Mémoire de DESS, FAST, DAC*, 81 p.
- Edorh A. P., Soumanou M., Lalèyè A., Gbangboché A.B., 2004 : Concentration du fer et du cuivre dans le liquide séminal de patients atteints d'infertilité masculine. *Journal de la Société de Biologie Clinique*, 008 : 57-60.
- Edorh A. P., Tachev K., 2003 : "Magnesium content in seminal fluid as an indicator of chronic prostatitis" *Cell. Mol. Biol.*, 49: 419-423.
- Moukolon., 1993 : Contrôles systématiques de la qualité des eaux naturelles au Congo: Quelques résultats du laboratoire d'hydraulique de LORS TOM / DGRST de Brazzaville, *Bulletin de liaison de CIEH*, n°90, II - 21.

#### 4.1.2. Publication n°2 : Caractérisation physico-chimique comparée des puits modernes et forages d'eau dans la zone cotonnière de Kérou (Bénin) dans le bassin hydrographique du Niger

ELEGBEDE<sup>1\*</sup> Bernadin, EDORH<sup>2</sup> A. Patrick, DJOSSE<sup>3</sup> Roger, KOUMOLOU<sup>4</sup> Luc, AÏSSI<sup>4</sup> K. Alain, ZANNOU<sup>5</sup> Fabienne, MONTCHO<sup>6</sup> Sabine, AKLIKOKOU<sup>7</sup> Kodjo

*J. Rech. Sci. Univ. Lomé (Togo), 2011, Série A, 13(2): 35-41.*

===@===

La deuxième publication complète la première et permettra de mieux d'approfondir la caractérisation physico-chimique comparée des puits modernes et forages dans la zone d'étude.

L'eau est un bien indispensable à la vie. Mais malheureusement, elle est inégalement répartie sur la surface de la terre. Conscient de cette nécessité, le gouvernement béninois a fait ratifié et promulgué beaucoup d'accords internationaux allant dans l'amélioration d'une meilleure couverture en eau potable depuis 1992. Ces différents accords ont permis de réaliser plusieurs ouvrages d'approvisionnement en eau potable tels que les AEV, les FPM et les PM par l'entremise de la DG Eau. Malgré cet effort du gouvernement béninois, l'on continue d'enregistrer des cas de maladies hydriques au sein des populations qui boivent pourtant l'eau de ces ouvrages. La présente étude s'est penchée sur le cas de la commune de Kérou, grande productrice de coton, située à environ 600 km de Cotonou. Avec quatre arrondissements, le taux de couverture en eau potable est établi à environ 45 % avec trente puits couverts et non couverts et 102 forages.

La méthode d'étude a consisté aux prélèvements de l'eau de 30 PM et d'un échantillonnage de 18 forages durant la période de montée d'eau de juillet-août. Les paramètres physico-chimiques essentiels indicateurs de pollution tels que pH, conductivité, nitrate, nitrite ont été analysés au laboratoire dans les conditions optimales. Les résultats d'analyse de températures ont permis d'enregistrer des valeurs fluctuant entre 25 °C et 29 °C. Ces résultats se rapprochent de ceux de Aïssi (1992), de Comlanvi (1994) à Cotonou et de Assani (1995) à Grand-Popo qui retrouvent des températures variant entre 25 °C et 30 °C.

En outre, les températures élevées de l'ordre de 29 °C que l'étude a observées sont de même ordre que celles obtenues à Brazzaville par Moukolo (1993) et sont identiques à celles retrouvées par Assouma (2004) à Kandi.

Selon Butterfield (1999), l'élévation de la température des eaux en milieu tropical, créerait des conditions favorables à la multiplication des micros organismes.

On peut conclure que l'élévation de la température des eaux des puits ainsi enquêtées crée des conditions favorables au développement d'activités microbiennes et par ricochet à la pollution des eaux en général, ce qui peut expliquer le cas des maladies enregistrées..

Quant au pH, les résultats des analyses varient suivant qu'il s'agit de puits ou de forage d'une part et selon que le puits est couvert ou non d'autre part, ces valeurs s'inscrivent dans l'intervalle de 6 et 8,5 qui sont également similaires aux travaux de Chapman (1996). Pour ce qui est de la conductivité électrique, la plupart des eaux des puits de Kérou ont des résultats supérieurs à la norme de 400 S/cm. Cette élévation de conductivité est certainement due aux charges électriques, à la mobilité des ions et à la température élevée constatée. Elle permet de soupçonner la pollution par les électrolytes ionisables. Ce qui confirme la forte tendance de minéralisation due à la pollution par les intrants agricoles.

Cette tendance est inversée quant aux orthophosphates qui varient entre 0,06 et 1,5 mg/L. De même, il est observé la présence d'ammonium à la dose de 0,1 mg/L d'azote ammoniacal. Même si ces résultats sont inférieurs à la norme, ils indiquent cependant un début de pollution de l'eau. Cette pollution existe quand bien même elle est insignifiante, elle ne remet pas fondamentalement en cause la qualité de l'eau de boisson dans la commune de Kérou. Toutefois, la qualité de l'eau de puits du village Kaobagou (S30) est impropre pour la consommation. Relativement aux nitrates même si les résultats obtenus ne dépassent pas les normes de 50 mg/L, la tendance entre 1,32 mg/L et 43,5 mg/L est inquiétante et dénote d'un risque à la dégradation de l'eau de forages et de puits.

Il est à noter que les eaux des puits non couverts se trouvant dans les abords immédiats du champ de coton sont les plus exposés. L'élévation de concentration des composés azotés permet donc de soupçonner une pollution organique probable due aux déchets d'origines animales, humaines ou aux effluents chargés de fertilisants. Par ailleurs, le pourcentage élevé des composés azotés obtenu au niveau de certains puits proches des champs de coton conduit la recherche à privilégier la pollution agricole. Bien que les valeurs obtenues ne s'écartent pas trop des normes de l'OMS, les résultats atteints dans le cas de cette étude sont tout de même encourageants parce que identiques à ceux obtenus par Assouma (2004), sur «la contribution à l'évaluation des risques liés aux usages domestiques de l'eau dans la commue

de Kandi». Il a conclu à cet effet que les eaux souterraines sont généralement exemptes de germes pathogènes. Le manque d'hygiène autour des puits d'eau et la mauvaise gestion des ordures pourraient être les sources probables de contamination voire de pollution bactériologique de ces eaux qui, malheureusement, sont consommées par les populations.

Ces résultats sont également similaires à ceux obtenus par Ndong (1999) dans la zone cotonnière du Sénégal sur une échelle de 47 ans. Cet auteur conclut que les intrants agricoles apportent complémentirement des matières azotées aux eaux souterraines.

Les résultats obtenus permettent entre autres de prouver que les eaux de puits sont plus vulnérables par rapport aux eaux de forages qui paraissent plus protégées.

# Comparative physico-chemical characterization of modern wells and boreholes water in the cotton zone of Kerou

ELEGBEDE<sup>1\*</sup> Bernadin, EDORH<sup>2</sup> A. Patrick, DJOSSE<sup>3</sup> Roger, KOUMOLOU<sup>4</sup> Luc, AÏSSI<sup>4</sup> K. Alain, ZANNOU<sup>5</sup> Fabienne, MONTCHO<sup>6</sup> Sabine, AKLIKOKOU<sup>7</sup> Kodjo

<sup>1</sup>Direction Départementale de l'Hydraulique, Ouémé-Plateau, 04 BP 1412, Bénin.

<sup>2</sup>Département de Biochimie et de Biologie Cellulaire, Université d'Abomey-Calavi (UAC), 01 BP 526 Cotonou, Bénin.

<sup>3</sup>Laboratoire d'Analyses Physico-Chimiques des Milieux Aquatiques, Université d'Abomey-Calavi (UAC), 01 BP 526 Cotonou, Bénin.

<sup>4</sup>Laboratoire de Toxicologie et de Santé Environnementale, Université d'Abomey-Calavi (UAC), 03 BP 1463, Cotonou, Bénin.

<sup>5</sup>PADEAR-GIZ, 04 BP 285 Cotonou, Bénin.

<sup>6</sup>CIFRED, Université d'Abomey-Calavi (UAC), 03 BP 1463, Cotonou, Bénin.

<sup>7</sup>Département de Physiologie/Pharmacologie, Faculté des Sciences, Université de Lomé (UL), BP 1515 Lomé, Togo.

\*Corresponding author : ELEGBEDE Bernadin. Tél : 00 (229) 97 27 55 15, E-mail: [elegbedebern@yahoo.fr](mailto:elegbedebern@yahoo.fr)

---

## Abstract

Groundwater accessible through hydraulic structures, modern wells and boreholes are the main sources of drinking water for the population of the cotton zone of Kérou. Boreholes, although are quite significant in the region but the new strategies adopted by Benin in the field of hydraulic structures are oriented towards reducing costs to the likelihood of achieving the priority of lots wells at the expense of boreholes. To highlight the non-adapting wells to people's needs and current hydro climatic context, this study has considered making a comparative physicochemical characterization of well and borehole water. The analysis of a number of parameters indicative of water pollution (T°C, pH, electrical conductivity, orthophosphate and nitrogen components) revealed that the levels of these elements remain high and show, for the most part, a major risk of pollution of well water as opposed to the boreholes water. Thus, although the cost of boreholes is high, it is advantageous for the safety of people, to foster this type of hydraulic structure.

**Keywords:** Drilling, wells, contamination, groundwater quality.

---

### 4.1.2.1 Introduction

Drinking water is considered as an undeniable factor in maintaining health and harmony of body functions (Dubois, 1992). Groundwaters are the main resources in drinking water from the infiltration of rainwater into the ground Boukari (1995). They insinuate themselves by gravity into the pores, cracks and crevices of rocks, wetting layers deeper and deeper until it meets an impermeable layer to form the sheet (Benaabidate, 2000). Access to it, is by building the infrastructures of all kinds. The Government of Benin, in 1992 ratified international agreements that require it to

provide drinking water to its entire population. For this purpose, over two decades, extensive campaigns in drinking water supply from groundwater have been launched with the support of technical and financial partners (TFP). This led to the creation of modern wells and boreholes (DGH, 2005). Unfortunately, these wells since their implementation are not subject to quality monitoring, yet their water continues to serve the communities. Moreover, there is a resurgence of waterborne diseases in communities that consume water from these infrastructures yet considered safe (Assouma, 2004). But the poor quality of drinking water is the leading cause of morbidity and



mortality among the poorest populations (World Water Council, 2005). Each year, five hundred million people suffer from waterborne disease. More than thirteen million people die each year from diseases linked to water unfit for consumption (Vermeulen, 2006). This requires some attention to be given. This study has therefore proposed to compare the physicochemical characteristics of water from wells known to those of modern water boreholes type UPM or VERGNET in the cotton zone of Kérou in Atacora in northern Benin. The objective is to verify whether the physicochemical quality of the supposedly modern wells do not endanger the health of

consumers. Should we not focus on water from wells to boreholes water?

#### 4.1.2.2 Material and methods

##### Framework Study

Kérou municipality is limited to North - West by the Municipality of Tanguieta with whom it shares Pendjari Park and North-East by the Municipality of Banikoara largest producer of cotton at the national level. In the South, it shares its borders with the cotton belt of Péhonco, Kouande and Gogounou. It is divided into four Districts that are: Brignamaro, Kérou Center, Kaobagou and Firou. Figure 13 shows the location of water points in these four districts.

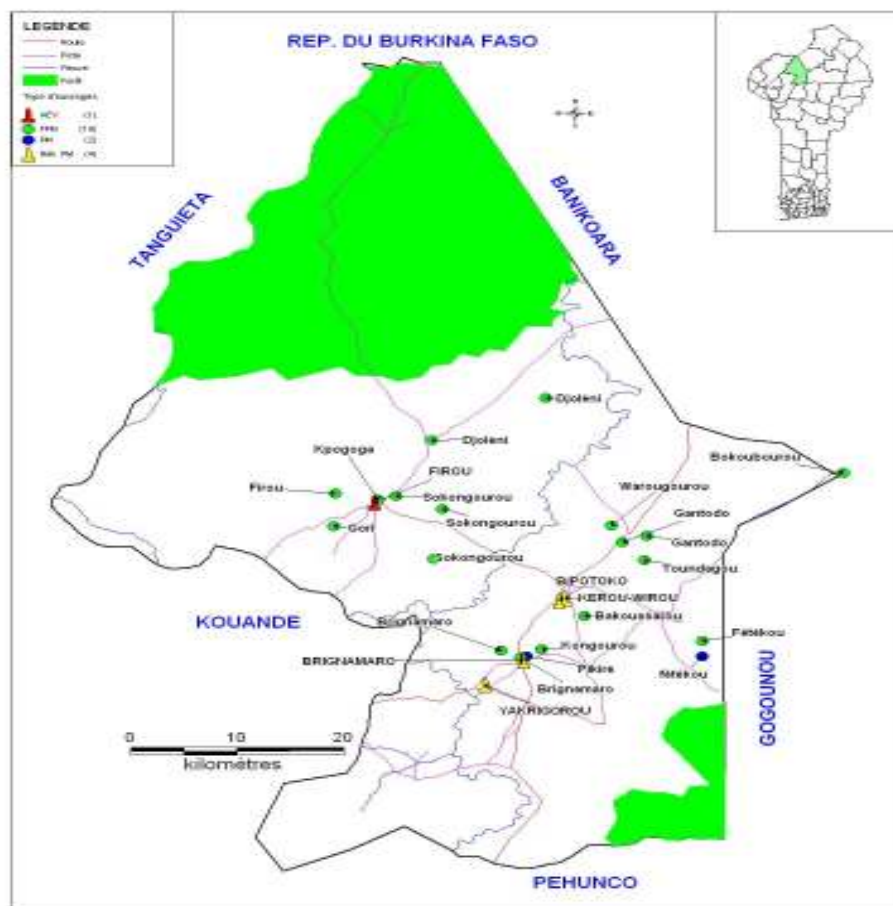


Figure 14: Kérou municipality showing the water points

The climate of the region is governed by the North Sudanian regime characterized by two distinct seasons: a dry season from October to April and rainy season from May to September. This system strongly influences the flow of water in the wells.

during the months of July-August, which corresponds to the rainy season.

Table X shows the distribution of wells (S1 to S30) and boreholes (F1 to F14) in the districts of the town.

### Sampling and analysis

Thirty (30) wells against fourteen (14) boreholes were selected for the study and whose waters were collected and analyzed. The samples were taken per water point

**Table X:** Distribution of wells (S) and boreholes (F) in the districts of Kérou

Wells	Boreholes	Districts
S1-S7	F1-F4	Brignamaro
S8-S14 + S27	F5-F8	Firou
S15-S26 + S28-S29	F9-F12	Kérou
S30	F13-F14	Kaobagou
30	14	4

The temperature, the pH, the conductivity are determined in situ using a pH meter WTWLF 340 and a conduct meter of the same brand. The ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), the nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), the phosphates were analyzed by the laboratory spectrophotometer DR/2000 Hach to 425 Dm in the range from 0 to 2.5 mg / L. The data were coded, entered and analyzed using software Excel, Epi Info and SPSS.

### 4.1.2.3 Results and discussion

Figure 13 shows the comparison of the variation of some physical parameter (temperature, pH, electrical conductivity) of the wells and boreholes water.

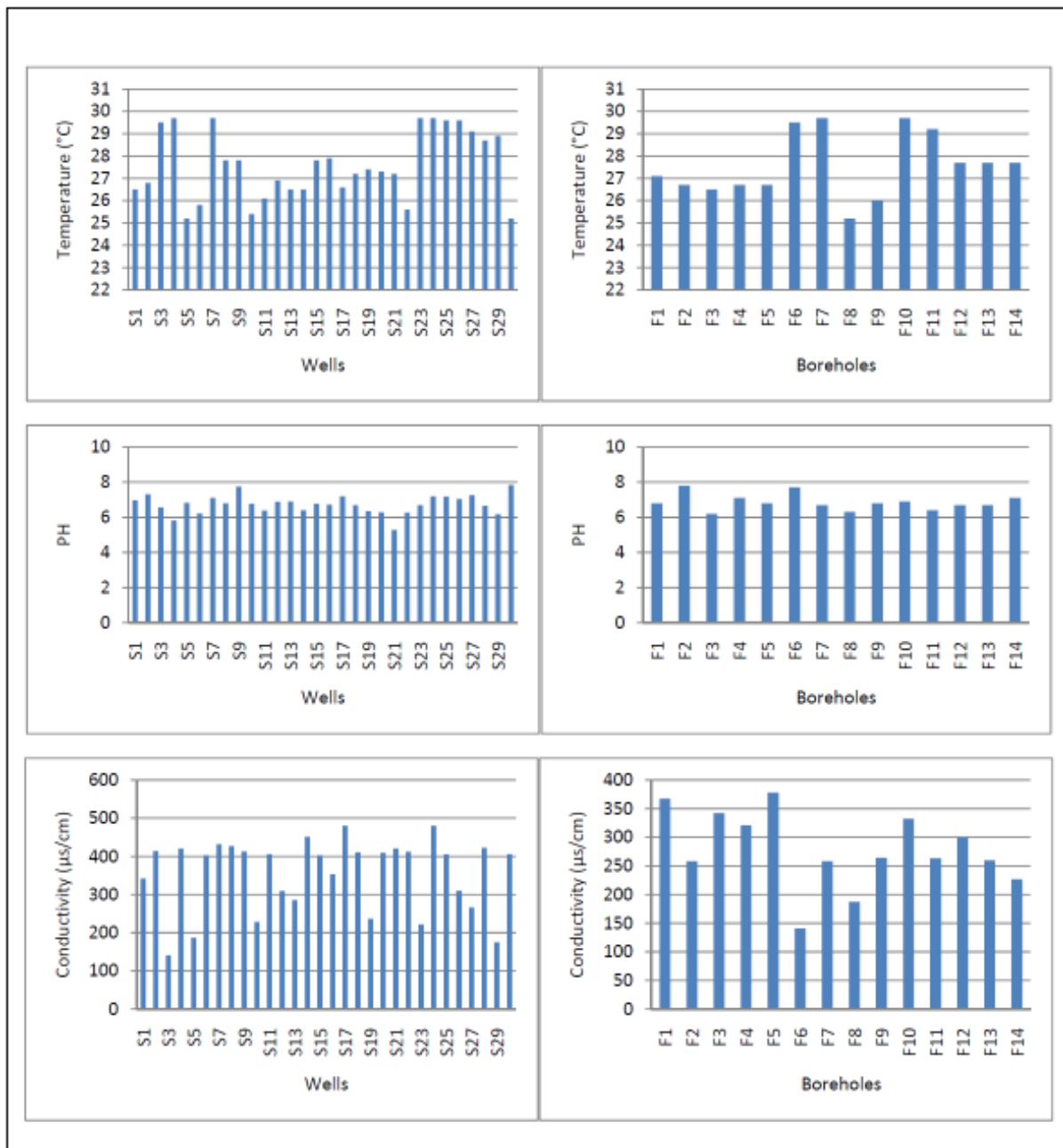


Figure 15: Comparison of the variation of some physical parameter (temperature, pH, electrical conductivity) of the wells and boreholes water.

### The water temperature

The water temperature is an important factor because it governs almost all physical, chemical and biological reactions (Chapman et al., 1996). Temperature is one of the important parameters on which depend physical, chemical and biological balances. From the analysis of Figure 14, it appears that the temperatures of the wells are

between 25.2 ° C and 29.7 ° C with an average of about 28. These results are similar to those of Aissi (1992), Comlanvi (1994) in Cotonou and Assane (1995) in Grand-Popo, who find temperatures between 25 C and 30 ° C. The ground water is shallow for some and average for others wells. This temperature rise may be due to the static level of water in the well, to the covering or

not of the wells and / or crossed geological layers. By cons, although four boreholes have recorded temperatures up to 29 ° C, the average is 27 ° C but this figure is greater than the standard WHO (T <25 ° C). But we must recognize that in the tropical countries, temperatures of groundwater are more or less higher. Indeed, temperatures of about 29°C are also observed in Brazzaville by Moukolo (1993) and Assouma (2004) in Kandi. According to Butterfield et al (1943) the rise of water temperatures in the tropical environment, create favorable conditions for microbial activities, which increase the costs of disinfection.

### **The pH**

This parameter measures the concentration of protons H<sup>+</sup> in the water, and therefore the acidity or alkalinity on a logarithmic scale of 0 to 14. It influences most chemical and biological mechanisms in the water. Usually, the pH values are between 6 and 8.5 in natural water (Chapman et al., 1996). It decreases in the presence of high levels of organic products and increases in low water period, when evaporation is high (Meybeck et al., 1996). The pH of the wells water as well as those of boreholes (Figure 2) showed no significant changes. On both sides, the

average is around 6.8 for boreholes and 6.7 for wells. This slight acidity a bit sharper at the well may be due to the sampling period or fertilizer inputs used in the fields.

### **The electrical conductivity**

The electrical conductivity is the ability of water to run an electric current and is determined by the content of dissolved substances, the ionic charge, and the ability of ionization, mobility and water temperature.

Therefore, it provides information on the level of mineralization of water. Kérou wells water is highly mineralized (Figure 2), always with several values above 400 µS/cm. These values appear to result from a significant share of inputs from drainage runoff that washed cotton fields contaminated by fertilizers and / or leaching of the reservoir where the water stays in the aquifer. By cons no water sample has conductivity > 400 µS/cm. The wells S17 to S24 rich in electrolytes belong to the district of Kérou, cotton-growing area.

Figure 14 shows the comparison of the variation of some chemical parameters (phosphate ions, ammonium ions and nitrates) of the wells and boreholes water.

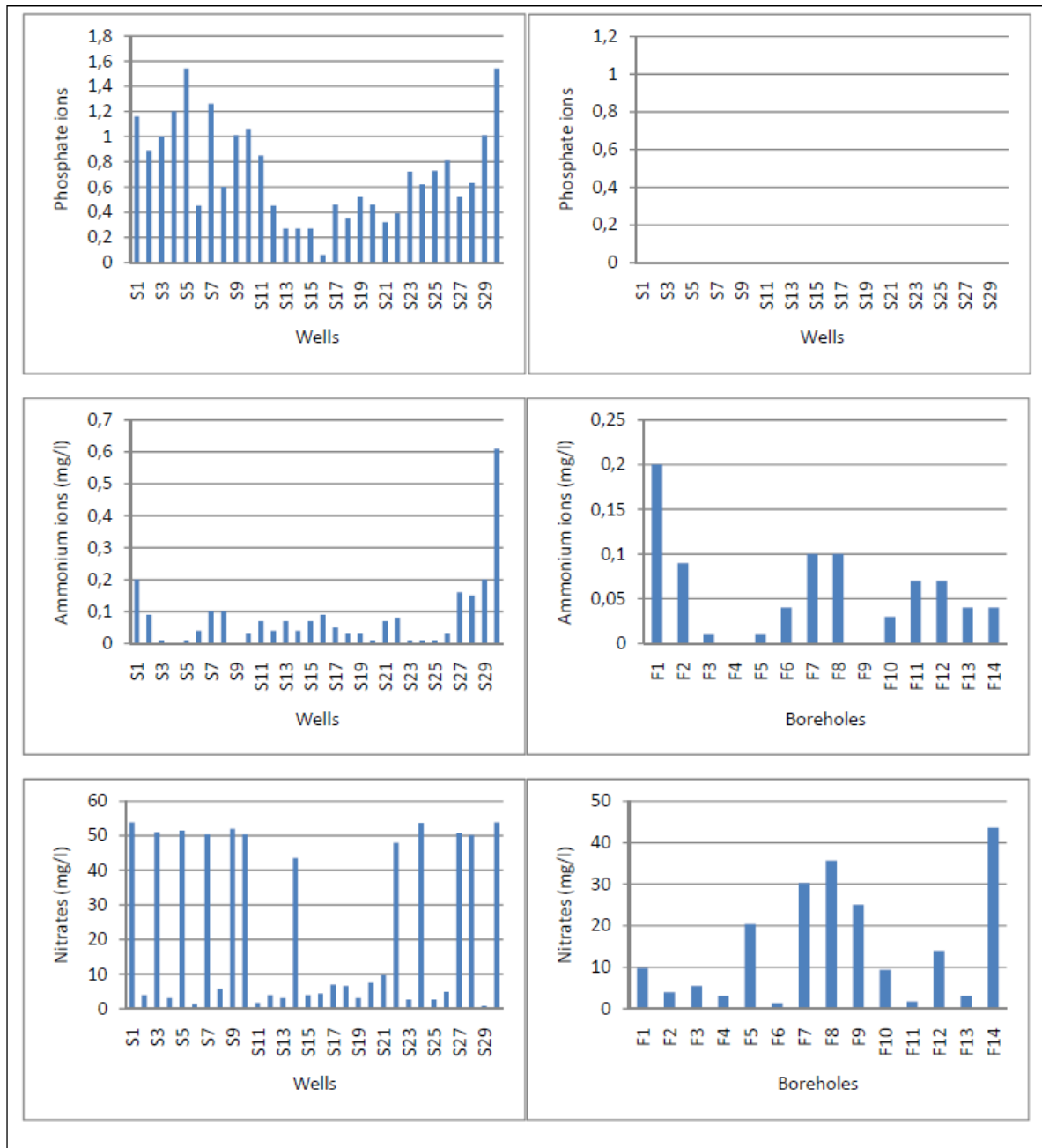


Figure 16: Comparison of the variation of some chemical parameters (phosphate, ammonium and nitrates) of the wells and boreholes water

### Orthophosphates

Orthophosphate concentrations recorded in studied wells are between 0.06 and 1.54 mg/L (Figure 14). However, they remain well below the allowable limit of orthophosphate (5 mg/L). The detection limit of the spectrophotometer does not identify phosphate ions in boreholes water.

### Ammonium

Ammonium is the product of the final reduction of organic and nitrous substances and inorganic products in water and soils. It also comes from the excretion of organisms,

reduction and biodegradation of waste, without neglecting domestic, industrial and agricultural inputs. This element exists in a small proportion of less than 0.1 mg/L of ammonia nitrogen in natural waters. In surface waters, it comes from the nitrogenous organic substances, and gas exchange between water and the atmosphere (Chapman et al., 1996). It is thus a good indicator of water pollution from urban sewage. The wells water S1, S27, S28, S29 are more concentrated in  $\text{NH}_4^+$ , but the levels of these do not exceed the standards (0.2 mg/L). However, given the results of Figure 3, the water of Kaobagou village (S30) is not good for consumption. By cons, for that purpose the quality of boreholes water meets the allowed standards.

### **Nitrates**

Nitrate is the most dominant nitrogen form in the ground water. They generally come from the decomposition of organic substances by bacterial oxidation of nitrites and thus constitute the final product of nitrification. In natural environment, its concentration rarely exceeds 45-50 mg / l. Higher levels indicate releases of wastewater that will contaminate surface and groundwater, especially the excessive use of fertilizers used in agriculture (Chapman et al., 1996). The organic materials of animal origin while decomposing lead to the formation of ammonia, which under the influence of air and bacteria, oxidizes and becomes first the nitrite, then nitrate. In Figure 3 above, it appears that 10/32 or 31% of wells have a nitrate content that exceeds the standards of 50 mg /L recommended by WHO for drinking water. The histogram of nitrate in boreholes shows a slight variation of these levels that range between 1.32 mg/L (well F6) and 43.5 mg / L (well F14), but remain below the permissible value by standards (50 mg/L). Thus, water boreholes studied are not subject to the risk of nitrate pollution. However, higher concentration of nitrogen compounds observed at the wells, especially in the boroughs of Brignamaro and Kérou to suspect organic pollution likely caused by animals and humans' wastes, or effluents containing fertilizers. It is just said that Kérou grow cotton probably by the intensive and uncontrolled use of agricultural inputs; it may be suspected as the mismanagement of domestic wastes and wastewater, soil contamination from feces or human excreta, particularly Kérou is the largest district of the municipality alone accounts 14 of the 30 wells of the town. However, the high percentage of nitrogen compounds obtained at some wells outside the cotton fields such as Borough Firou wells (S9 and S10) leads us to favor the hypothesis of domestic pressure as to origin of the high rate of nitrate. Indeed, these results can be interpreted in this context because they are identical to those obtained by Assouma (2004) on the impact of household on water in the municipality of Kandi, municipality near Kérou. But we can not rule out the farm reason as Ndong (1999) obtained similar results in the cotton zone of Senegal. We can therefore conclude with these authors that agricultural inputs provide additionally nitrogen contents to groundwater already prone to household pollution.

#### **4.1.2.4 Conclusion**

Various tests on water samples from wells and boreholes of the cotton zone of Kérou allow us to show how some parameters describe the physicochemical quality of the water.

A comparison of measured concentrations of major elements in groundwater of this area for the different sampling sites indicates a difference in concentration between the wells and boreholes.

This difference is characterized by high rates in wells water. The levels of dissolved phosphate ions increase gradually from well S16 to a maximum level of well S30. It is also noticed a decrease from S5 to S16. The increase involves upstream discharges that contaminate groundwater and the decline suggests a self-purification. However, orthophosphate concentrations are very low, leaving predict that this does not constitute a pollution risk for wells water. The diagnosis of these parameters combined with the study of nitrogen compounds have shown that the wells water, after all, is heavily influenced by domestic sewage or agricultural activities.

*This work subscribes to PACEAA project (Support Project in the commune for Water and Sanitation) was funded by Helvetas.*

#### **4.1.2.5 References**

- AISSI M. J., 1992. Impacts des déchets domestiques sur la qualité de la nappe phréatique à Cotonou. Mémoire de fin de formation DETS, CPU, UNS, 69 p.
- ASSANI A., 1995. Qualité et mode de gestion de l'eau de boisson dans la sous-préfecture de Grand-Popo. Mémoire de maîtrise en santé publique, IRSP, UNE, 129 p.
- BENAABIDATE L., 2000. Caractérisation hydrologique du bassin versant de Sebou : hydrogéologie, qualité des eaux et géochimie des eaux thermales. Thèse Doc. Es-sc., F.S.T. Fès, 250 p.
- BOUKARI M., 1995. Identification des aquifères de la zone littorale du Bénin, Afrique de l'ouest : Hydrodynamique, Hydrochimie et problèmes d'alimentation en eau de la ville de Cotonou. In Africa Geosciences Review, 21 : 121-139.
- BUTTERFIELD C.T., WATTIE E., MEGREGIAN S., CHAMBERS C.W., 1943. Influence of pH and temperature on the survival of coliforms and enteric pathogens when exposed to free chlorine. Public Health Rep., 58:18-37.
- CHAPMAN P.M., PAINE M.D., ARTHUR A.D., TAYLOR L.A., 1996. A triad study of sediment quality associated with a major, relatively untreated marine sewage discharge Mar. Pollut. Bull., 32:47-64.
- COMLANVI F.M., 1994. Amélioration de la qualité des eaux de puits dans la ville de Cotonou: Cas de quelques quartiers. Mémoire de fin de formation DIT, Aménagement, protection de l'environnement, CPU, UNE, 78 p.
- DIRECTION GENERALE DE L'HYDRAULIQUE, 2005. Stratégie nationale de l'approvisionnement en eau potable en milieu rural du Bénin 2005-2015. Document de travail, MMEH.
- ASSOUMA I.D., 2004. La contribution à l'évaluation des risques liés aux usages domestiques de l'eau dans la commune de KANDI. Mémoire de DESS, IMSP, 69 p.
- DUBOIS J.C., 1992. L'eau et les maladies nerveuses. Edition : Expansion scientifique française, Paris, pp. 16-17.
- MEYBECK M., FRIEDRICH G., THOMAS R., CHAPMAN D., 1996. Rivers Water quality assessments : a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon, London, pp. 59-126.
- MOUKOLO N., 1993. Les contrôles systématiques de la qualité des eaux naturelles au Congo: Quelques résultats du laboratoire d'hydraulique de LORSTOM/DGRST de Brazzaville. Bulletin de liaison de CIEH, 90 I (1) : p. 21.

- NDONG J.B., 1999. Analyse de la variabilité des précipitations dans la zone cotonnière du Sénégal de 1951 à 1998 : détermination de périodes de semis. Publications de l'Association Internationale de Climatologie, vol. 12 : 124-131.
- VERMEYLEN A., 2006. Cours de microbiologie. Facultés Universitaires Notre Dame de la Paix de Namur, Belgique.
- WORLD WATER COUNCIL, 2005. Les Objectifs du Millénaire pour le Développement OMD et la Cible 10 sur l'eau et l'assainissement.



### **4.1.3. Publication n°3: Evaluation de la vulnérabilité des eaux de forages a la pollution par les métaux toxiques dans la commune de Kerou du bassin du Niger.**

ELEGBEDE<sup>1</sup> Bernadin, EDORH<sup>2</sup> A. Patrick, KOUMOLOU<sup>3</sup> Luc, HOUNKPATIN<sup>4</sup> S' Armelle, GUEDENON<sup>4</sup> Patient, BOKO<sup>5</sup> Michel

*Int. J. Biol. Chem. Sci., N°1189-IJBCS, 2011.*

La troisième publication complète les deux premières et met en exergue la présence des métaux toxiques dans l'eau des forages.

Ce travail de recherche intitulé : « Evaluation de la vulnérabilité des eaux de forages à la pollution par les métaux toxiques dans la Commune de Kérou » a mis en exergue et ceci de façon expérimentale les préjudices sanitaires et les nuisances biochimiques que les activités anthropologique créent à l'environnement notamment à l'eau et par ricochet aux autres composantes de l'environnement que sont la faune, la flore et l'être humain.

En effet, cette étude a montré que la plupart des forages situés dans les champs de coton de la zone de l'étude sont quasiment, fort des activités anthropiques, pollués par les métaux (Cu, Pb, Cd, Zn, Ni, Fe). Pour la réalisation de cette étude, des matériels et méthodes appropriés sont utilisés pour les prélèvements qui ont été faits pendant l'étiage (octobre - décembre) et pendant les hautes eaux (mai - septembre) au niveau de 18 forages dans cette zone d'étude située au nord-ouest du Bénin.

Sur les quatre arrondissements de la Commune de Kérou, les prélèvements ont été effectués dans trois arrondissements. Cette démarche méthodologique a donné des résultats probants. Au niveau des forages 5 et 10, il a été enregistré la présence de cuivre d'une concentration respective de 0,0122 mg/L et 0,0270 mg/L contre la norme de 3 mg/L. Quant au plomb il s'est retrouvé presque dans la plupart des forages. Mais, les concentrations les plus élevées ont été remarquées au F7, F10 et F19 sont respectivement 0,0613 mg/L, 0,604 mg/L et 0,098 mg/L contre la norme admise de 0,04 mg/L. Ces forages suscités étant très proches des superficies emblavées de coton, ce qui met en évidence la mauvaise gestion des intrants liés à la culture du coton qui constituent une cause fondamentale à l'image des études de Feuillade *et al.* (2001).

En somme, les risques attendus au vu de ces données sont à prendre au sérieux fort des travaux de Peden *et al.* (2009) ; Galaf et Ghannam (2003), Bolnot *et al.* (2004) au motif de l'intoxication et de la modification de la maturation du système nerveux central avec le retard de développement chez les enfants. Il n'est pas à occulter non plus les troubles

hématologiques, gastro-intestinales, reproductives, immunologiques et pathologiques clamés par Patrick (2006) et Xu *et al.* (2008).

Concernant le cadmium qui, en association avec le zinc pollue l'eau suite à la corrosion des canaux de conduite, les travaux de Galdes et Vallor (1983) et Prasat *et al.* (1979) sur le zinc ne spécifient aucune dangerosité au-delà du seuil de 5 mg/L. Encore que l'étude a obtenu des livrables inférieurs que sont 0,035 et 0,0260 mg/L au niveau des forages suscités.

Bien que la valeur limite du cadmium est de 0,005 mg/L, les dosages ont donné des valeurs 0,0234 et 0,0244 mg/L respectivement aux forages F5 et F10. Ces résultats confirment les recherches de Feuillade *et al.* (2001) qui indiquent que ces décharges libèrent les lixivats riches en plomb et en cadmium. Au vu de l'assertion de Camobreco *et al.* (1996) sur la faible absorption du cadmium par les particules du sol, Richards *et al.* (1998) ont affirmé que le cadmium pollue les nappes et son excès pourrait provoquer la mort avec sa forte affinité pour le foie et les reins.

La présente étude s'est penchée également sur le nickel (Ni) et le Fer ( $Fe^{++}$ ) au niveau des forages F10, F5 et F2. Les différents résultats afférents à ces métaux avec la limite du nickel qui est de 0,05 mg/L et celle du fer qui est de 0.2 mg/L. Le moindre degré de nocivité malgré l'éventuel dépassement de la limite amène l'étude à confirmer que le nickel et le fer ne sont pas très toxiques.

En somme, et au vu des résultats, l'étude a prouvé que la question de pollutions par les métaux est comme un cercle vicieux, où le serpent se mord la queue, car la pollution de l'eau de surface par les métaux due aux activités anthropiques contamine l'eau souterraine avec des risques de pathologies graves parfois létales pour l'être humain, lui-même pourtant acteur de cette pollution.

Cette étude a montré que les forages à proximité des champs de coton ou qui sont proches de la rivière sont ceux qui ont de fortes teneurs en métaux toxiques. Ce qui met en exergue une fois encore l'interaction qui existe entre l'eau de surface et l'eau souterraine.

Fort de cette palissade prouvée par la scientificité de l'étude, il est nécessaire voire indispensable de chercher à changer et à amener la population à un changement de comportement grâce à des activités de sensibilisation.

## Assesment of groundwater to pollution by the toxic metals in the municipality of Kerou (Benin) in watershed of the Niger

ELEGBEDE<sup>1</sup> Bernadin, EDORH<sup>2,4\*</sup> A. Patrick, KOUMOLOU<sup>3</sup> Luc, HOUNKPATIN<sup>4</sup> S. Armelle, GUEDENON<sup>4</sup> Patient, DEGUENON<sup>4</sup> A. Yvette, BOKO<sup>5</sup> Michel

<sup>1</sup> Direction Départementale de l'Hydraulique, Ouémé-Plateau, 04 BP 1412, Bénin.

<sup>2</sup> Département de Biochimie et de Biologie Cellulaire, Université d'Abomey-Calavi (UAC), 01 BP 526 Cotonou, Bénin.

<sup>3</sup> Département de Physiologie/Pharmacologie, Faculté des Sciences, Université de Lomé (UL), BP 1515 Lomé, Togo.

<sup>4</sup> Centre Interfacultaire de Formation et de Recherche en Environnement pour le Développement Durable (CIFRED), Université d'Abomey-Calavi (UAC), 03 BP 1463, Jéricho, Cotonou, Bénin.

<sup>5</sup> Laboratoire Pierre Pagney : Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE), 03 BP 1122 Cotonou, Bénin.

\*Author for correspondence: Patrick A. EDORH. Tél : 00 (229) 97 07 15 96,  
E-mail: patrickedorh@yahoo.fr

---

### Abstract

This case study has assessed the vulnerability of boreholes water to pollution by toxic metals in the cotton zone of Kerou, in northern Benin. Toxic metals (lead, copper, cadmium, zinc, nickel and iron) were analyzed by atomic absorption spectrophotometry. The results show high values for lead, nickel and iron, which means that 7 out of 18 boreholes are contaminated. Only the lead level exceeds the standard for the boreholes of Ganbore and Korigourou (0.0613 and 0.098 mg/L against 0.04 mg/L). The level of contamination of Cadmium, zinc and copper is very irregular, but however one must notice that the two aforementioned boreholes are contaminated with the concentration of cadmium above the permitted limit (0.0234 and 0.0244 mg/L against 0.005mg/L). These findings allow us to say that, apart from the two boreholes of the localities of Ganbore and Korigourou located in cotton farm, most of the boreholes are resistant to pollution. So the responsible factors, of the noticed contamination are defined. It is above all due to the cultivation of cotton in this area. The assays witness of the Mekrou River has revealed high contamination by the lead (0.060 mg/L) and the iron (1.4341 mg/L): this result can highlight the ongoing relationship of surface water with groundwater.

**Key words:** Vulnerability, groundwater, contamination, toxic metals, cotton culture.

---

### 4.1.3.1 Introduction

Human health depends on the availability in sufficient quantity and in quality of water. Groundwater, main source of drinking water is powered by rainwater that enters by gravity into the pores and cracks in rocks (Benaabidate, 2000). Groundwater is reached through the achievement of wells and boreholes.

According to structure in charge of drinking water, there are about 2153 large diameter wells and 4291 boreholes with hand pumps in Benin, the City of Kérou has only 30 wells and approximately 102 boreholes (Elégbédé, 2007). This case study has been chosen for many reasons. Due to their large number, boreholes are used for drinking water unlike wells. Moreover, recent studies have revealed the

chemical and bacterial pollution of well water compared to boreholes that appear to be more protected (Elégbédé, 2007). The technical configuration of the well was identified as the main cause for the vulnerability: often shallow, open, sometimes directly subject to human pressures (Ouadaogo-Yaméogo, 2008). These researches, which are now very frequent, alert people who are becoming more and more reluctant to this water. However, boreholes have some technical credibility that would ensure the safety of water for consumption. However, the potability of water, which mainly considers as physico-chemical and bacteriological parameters, can no longer hide the pollution by heavy metals. The magnitude of the population that takes these products in the beninese environment no longer allows this lack of interest. Indeed, in Benin, more researches have revealed high contents of toxic metals in staple foods: giant snails of Okpara (Edorh et al., 2009), sediments and water of Lake Nokoué (Edorh et al., 2010). Furthermore, Adam et al. (2009) have found lead in water pump in Banikoara. However, some toxic metals, beyond the usual chemical elements of potability, are particularly dangerous for the immune system, skin, circulatory system (Testud, 2005), the central nervous system, liver and kidneys (Viala and Grimaldi, 2005). Despite the clinical signs recorded in our hospitals resemble some diseases metals, Doctors are paid little attention to this issue (Edorh, 2007). This study has therefore proposed to assess the vulnerability of boreholes with hand pumps type UPM or VERGNET, particularly to the pollution by toxic metals in the cotton zone of Kerou. The goal is to see if the effect of promoting the drilling at the expense of wells would not be sufficient as a preventive measure against the risks associated with poor water quality. Therefore, we should also consider

impact of human activities on the vulnerability of water resources.

#### 4.1.3.2 Materials and methods

##### Study area

Kerou municipality is limited at North - West by the Municipality of Tanguieta with which it shares the Pendjari Park and at North-East by the Municipality of Banikoara which is the largest producer of cotton at the national level. In the South, it shares its borders with the cotton belt of Pehonco, and Kouande Gogounou. It is divided into four Districts that are Brignamaro, Kerou, Centre Kaobagou and Firou.

The climate of the region is governed by the North Sudanese regime characterized by two distinct seasons: a dry October to April and rainy from May to September.

The study area is located in the watershed of the Niger which is controlled by the streams tributary of Pendjari such as the sota and Mekrou

Rainfall gives around 900 to 1000 mm of rain per year.

Its hydrogeology is dominated by Precambrian granitic-gneiss covered with a thick layer of clay-altered lateritic.

Infiltration of rainwater is very intense due to the high density of the fracture network and the nature of the soil generally clay-lateritic with high permeability.

The crystalline basement consists of igneous and metamorphic rocks is waterproof, facilitating runoff chemicals substances in the beds of rivers. These geological formations explain the nature and properties of soils which are extremely fragile. The area is dominated by cotton cultivation with uncontrolled use of pesticides and fertilizers. They are sometimes undeniable sources of metals found in the river before penetrating in the groundwater.

Figure 17 shows the location of water points in these four districts

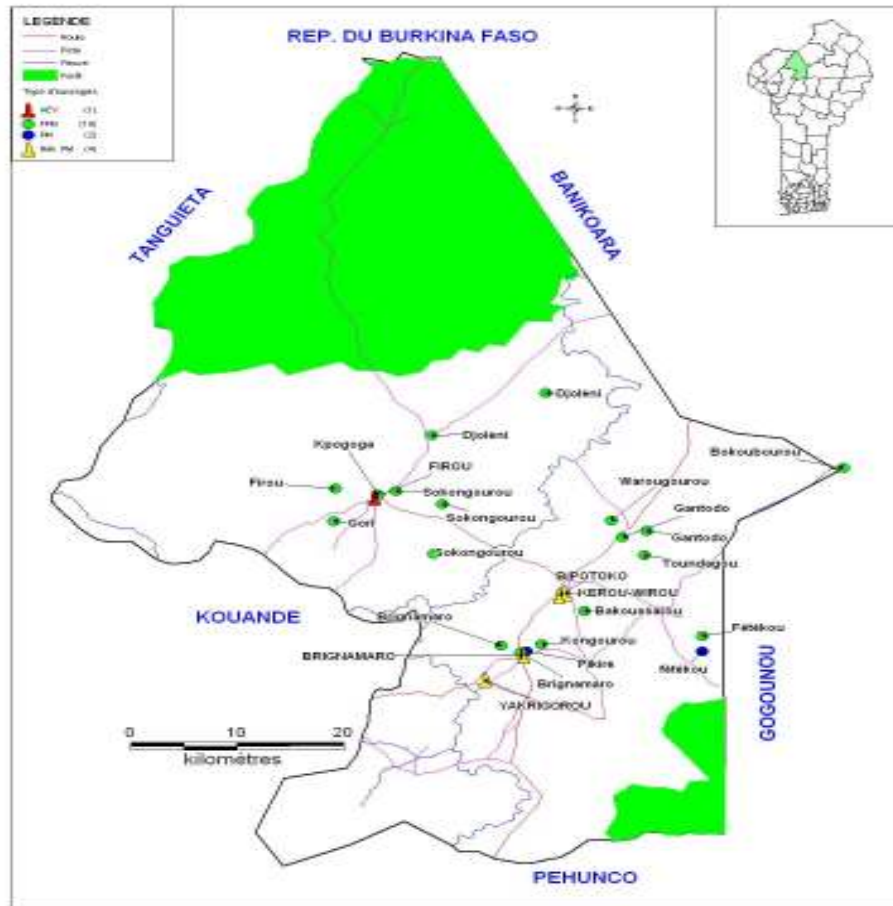


Figure 17 shows the location of water points in these four districts

### Sampling and analysis

Water points were chosen so as to have an overall picture of water surrounding the Mékrou River, with the aim to detect the possible interaction between the groundwater and the Mékrou River.

In this study eighteen (18) samples come from groundwater (boreholes) and one

from Mékrou River in nineteen (19) which were taken.

The samples were taken during the month of December in the dry season to evaluate the increase of the concentration of chemical elements due to the low water.

**Table XI:** Distribution of boreholes (F) in the districts of Kerou

Boreholes	Districts	Populations (PDC, 2006)	Localities
F1	Firou	10.204	Firou market
F2			Camp peul –EPP
F3			Ferme Gérant
F4			Marékpo
F5	Kerou	27.889	Ganboré
F6			Gantodo EPP
F7			Toundagou
F8			Center
F9			Boni
F10			Konigourou Center
F11	Brignamaro	12.687	Kossou-Nord
F12			Kossou-Sud
F13			CCS
F14			Ouinra-Center
F15			Bérékossou
F16			Banbaba
F17			Wodora
F18			Boukaro
F19			Mékrou River

Mékrou River (F19) was taken to test the hypothesis of the interaction between groundwater and river, in fact drilling with high contents of lead are those who are closed to Mékrou River or situated in the field of cotton.

### Treatment and analyze

Measurements of temperature, pH, total hardness and electrical conductivity were performed *in situ*. The pH of the water analyzed is measured using the pH-indicator strips. The conductivity was measured by a conductivity meter. Most measurements of these parameters are normal for boreholes

Toxic metals (lead, cadmium, zinc, copper, nickel and iron) are analyzed in the laboratory by atomic absorption spectrophotometry according to the protocols (Anane et al., 1995; Vaidya et Al.; 1996). The data were represented by spots blots in Excel.

### 4.1.3.3 Results

Seven out of eighteen samples contain lead at varied levels, but this depending on whether boreholes are near the cotton field or they are closed to the Mékrou River.

Figure 18 shows the concentrations of various toxic metals analyzed in the boreholes water of Kerou town.

### 4.1.3.4 Discussion

#### Copper and lead

Copper and lead are subjects to regulation jointly because both are normally used in plumbing. Because they are corrosive it is normal to find copper in quantities of a few tenths of ppm and this does not pose a risk. Figure 18 shows that, apart from drilling F5 and F10, Kerou waters do not contain copper or rather the detection limits of the spectrophotometry does not allow to identify the presence of copper. Drilling F5 and F10, Ganbore and Konigourou recorded respectively 0.0122 and 0.0270 mg/L of copper in their water against the limit of 3 mg/L. Regarding lead, the most significant heavy metals, for both toxic and widespread (Boutron and Patterson, 1983), enter the water during the corrosion of

plumbing materials. It can be found in the solders used to join copper pipes, as well as fittings and brass valves. The assay results show that of the 18 samples of boreholes water, 2 drilling F7 and F10, respectively Toundagou and Korigourou contain 0.0613 and 0.098 mg/L of Pb against the permissible limit of 0.04 mg/L. These boreholes in the borough of Kerou are characterized by strong agriculture pressure. In addition, the poor management of household waste can be also questioned (Feuillade et al., 2001). These data must be taken very seriously especially with regard to children for whom lead poisoning is more dangerous (Peden et al., 2009). Even at low doses may cause intoxication. It can be observed in children poisoned, a change in the maturation of the nervous system with delayed motor development (Galaf and Ghannam, 2003), impaired memory and hearing problems (François-Henri et al., 2004). Lead can cause blood disorders, gastrointestinal, reproductive, and immunological and apoptotic disorders (Patrick, 2006; Xu et al., 2008)

#### **Cadmium and zinc**

Cadmium occurs mostly in association with zinc and enters the water during the corrosion of galvanized pipes and fittings, coated with zinc. The results presented in Figure 18 show trace amounts of zinc (0.0354 and 0.0260 mg/L respectively for drilling F5 and F10 against a limit of 5 mg/L). This does not pose a risk. Indeed, zinc, trace element essential for replication and translation of genetic material (Galder and Vallee, 1983) becomes toxic at high doses. And again, no toxicity was reported for zinc food borne (Prasad et al., 1979). However, teratogenic effects (Campbell and Mills, 1979) and disorders of cholesterol metabolism (Klevay, 1980) occur when there is competition with copper. With regard to cadmium, these results show that it is 5 times more concentrated than normal water in these wells F5 and F10 (0.0234 and 0.0244 mg/L

to a limit of 0.005 mg/L). It is always in big concentration at Ganboré and Konigourou villages. The garbage accumulated in dumps breaching the standard (landfill site) produce leachates rich in lead and cadmium (Feuillade et al., 2001). But cadmium, unlike lead adsorbs weakly soil particles (Camobreco et al., 1996). It is more free and lets itself be dragged into the depths and contaminate groundwater (Richards et al., 1998). Excessive

exposure to cadmium may cause death (Othumpangat et al., 2005). It enters cells and accumulates in high concentrations in cytoplasm and nuclear space (Beyersmann et al., 1997) and has a strong affinity for the liver and kidneys (Cai et al., 2001).

#### **Nickel and iron**

The results in Figure 2 show that iron and nickel are to be monitored, particularly at the borehole F10 (0.0334 and 0.1789 mg/L); concentration of nickel (0.0425 mg/L) in drilling F15 and concentration of iron (0.1493 mg/L) in drilling F2 are too high even if they don't reach the standard, they are too closed to the respective limits of 0.05 mg/L and 0.2 mg/L. The Iron is quite abundant in the rocks where it is in the form of silicates, oxides and hydroxides, carbonates and sulfides. In groundwater, iron is often under reducing conditions

But this iron precipitates in an oxidizing environment (Gone et al., 2008), particularly at source and when leaving water pipes. Moreover, the quantities necessary to meet the lethal dose is .04 mg/L and can cause carcinogen, nausea, vomiting, diarrhea, allergic contact dermatitis, pulmonary asthma, conjunctivitis, inflammatory reaction.

The presence of these metals pose a risk, they also cause many inconveniences in appearance and taste of water. It is not the case with the lead and cadmium that make the water unusable for drinking, domestic use and agriculture. For this, involvement

and awareness of local environmental rules after the completion of drilling should help prevent the manifestation of pollution to ensure efficient and sustainable management of water resources. Finally,

the results of control assays of the Mekrou River show contamination for lead.



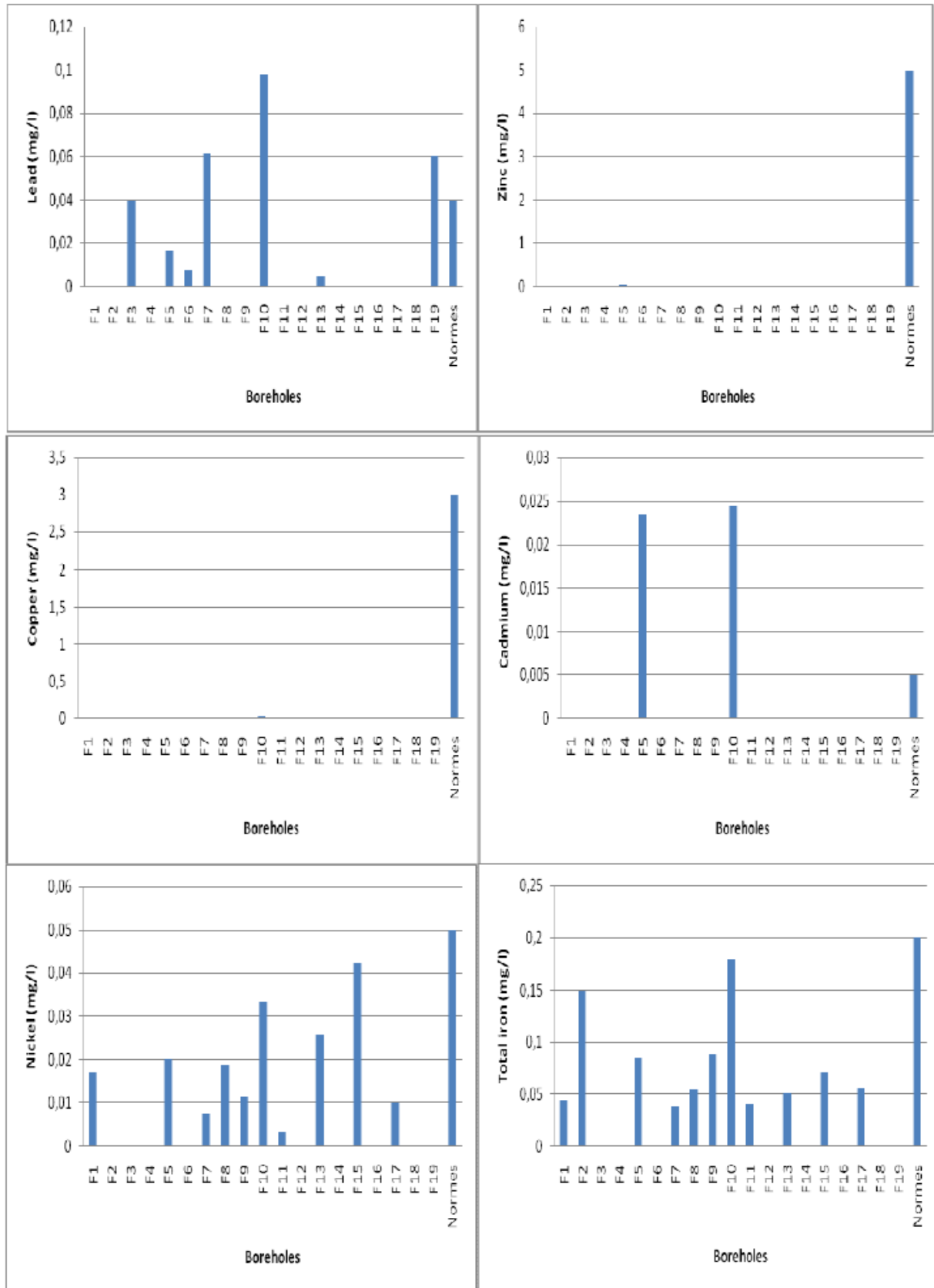


Figure 18: Concentrations of various toxic metals in the boreholes water at Kerou.

F20 is the WHO standard for safe drinking water (WHO, 2001).

#### 4.1.3.5 Conclusion

The results of the vulnerability assessment of the well from pollution by toxic metals indicate that lead, nickel and iron have contaminated nearly half of the wells studied, but only lead levels exceed the standards and that in two boreholes. By contrast, contamination by cadmium, zinc and copper is very irregular; only Ganbore and Korigourou boreholes are contaminated with cadmium levels above the legal limit. In short, lead and cadmium pose real risks to the health of people in two boreholes situated at Ganbore and Korigourou communities. It can be assured that the cause of this contamination is localized and can be attributed to the intensive cultivation of cotton in the region, where the boreholes are located. But it can also depend on poor hygiene and sanitation around these boreholes. Finally, the results obtained through the various tests are worrying to increase the monitoring of water in the watershed of River Niger with series of awareness in order to preserve the life and ecosystems in the area.

#### 4.1.3.6 References

- Anane R. Bonini M. Grafeille M. J. Creppy E.E. 1995. Bioaccumulation of water soluble aluminum chloride in the hippocampus after transdermal uptake in mice. *Arch. Toxicol.*, 69: 568-571.
- Benaabidate L. 2000. Caractérisation hydrologique du bassin versant de Sebou : hydrogéologie qualité des eaux et géochimie des eaux thermales. Thèse de doctorat. Es-sc. F.S.T. Fès, p. 250.
- Beyersmann D. Hechtenberg S. 1997. Cadmium gene regulation and cellular signaling in mammalian cells. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 144 : 247-61.
- Boukari M. 2001. Identification des aquifères de la zone littorale du Bénin Afrique de l'ouest : Hydrodynamique Hydrochimie et problèmes d'alimentation en eau de la ville de Cotonou. In *Africa Geosciences Review*, 2(1) : 121-139.
- Boutron CF. and Patterson CC. 1983. The occurrence of lead in Antarctic recent snow firns deposited over the last two centuries and prehistoric ice. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 47: 1355- 1368.
- Cai Y. Aoshima K. Katoh T. Teranishi H. Kasuya M. 2001. Renal tubular dysfunction in male inhabitants of a cadmium-polluted area in Toyama Japanan eleven-year follow-up study. *J. Epidemiol.*, 11:180-189.
- Camobreco VJ. Richards BK. Steenhuis TS. Peverly JH. McBride MB. 1996. Movement of heavy metals through undisturbed and homogenized soil columns. *Soil Science* 161: 740-750.
- Campbell JK. et Mills CF. 1979. Toxicity of zinc to pregnant sheep. *Environ. Res.* 20(1): 1-13
- Edorh AP. Agonkpahoun E. Gnandi K. Guédénon P. Koumolou L. Amoussou C. Ayedoun A. Boko M. Gbeassor M. Rihn H. Creppy E. (2009). An assessment of the contamination of *Achatina achatina* by toxic metals in Okpara village Int. *J. Biol. Chem. Sci.*, 3(6): 1428 -1436.
- Edorh AP. Gnandi K. Ayedoun MA. Agonkpahoun E. Koumolou L. Amoussou C. Boko M. Gbeassor M. Rihn HB. Creppy EE. 2010. Etude comparative de la bioaccumulation de métaux lourds dans les sédiments du lac Nokoué et de la rivière Okpara (Bénin) ; *Sciences et Médecine Rev. CAMES – A* (10).
- Edorh A. 2007. Heavy metals actions. *TWAS Newsletter*. 9 (2) : P. 52-45
- Elégbédé MB. 2007. Pollution de l'eau des puits et de la nappe phréatique par les pratiques humaines et son impact sur la sante des populations dans la commune de Kerou, premier producteur du coton dans les département de l'atacora/donga. *DEA*, p.111.

- Feuillade G. Lagier T. Matejka G. 2001. Les métaux lourds dans les décharges d'ordures ménagères La Tribune de l'eau 54 (611) : 17-24.
- François-Henri B. Jean CQ. François B. 2004. Sécurité sanitaire des aliments : Parlons-en ! 13p.
- Galaf F. et Ghannam S. 2003. Pollution du milieu marin. Institut Agronomique Vétérinaire. Hassan II Rabat (Ma)., p. 115
- Othumpangat S. Kashon M. Joseph P. 2005. Eukaryotic translation initiation factor 4E is a cellular target for toxicity and death due to exposure to cadmium chloride. J. Biol. Chem., 280 : 162-169.
- Ouadaogo-Yaméogo S. 2008. Ressources en eau souterraine du centre urbain de Ouagadougou au Burkina Faso : qualité et vulnérabilité. Thèse Académie d'Aix-Marseille Univ. d'Avignon et des Pays de Vaucluse. Paris: P. 88-1125
- Patrick L. 2006. Lead toxicity part II: the role of free radical damage and the use of antioxidants in the pathology and treatment of lead toxicity. Altern. Med. Rev 11 : 114-127.
- PDC Programme d'appui au démarrage des communes Monographie de la commune de Kerou 2006. Mission de Décentralisation document de travail. Bénin : P. 30-35
- Peden M. Oyebite K. Ozanne-Smith J. Hyder AA. Branche C. Rahman FA. Rivara F. 2009. «Rapport mondial sur la prévention des traumatismes de l'enfant» World Health Organization p. 250.
- Prasad AS. Brewer GJ. Schoomaker EB. Rabbani P. 1979. Hypocupremia induced by zinc therapy in adults. J. Am. Med. Assoc., 240: 2166.
- Richards BK. Steenhuis TS. Peverly JH. Mc Bride MB. 1998. Metal mobility at an old heavily loaded sludge application site. Environ. Pollut., 99: 365- 377.
- Soulé Adam. Etorh PA. Totin H. Koumolou L. Amoussou E. Aklikokou K. Boko M. 2009. Pesticides et métaux lourds dans l'eau de boisson les sols et les sédiments de la ceinture cotonnière de Gogounou Kandi et Banikoara (Bénin). Int. J. of Biol. and Chem. Sc. 4 (4) : P. 105-114
- Testud F. 2005. Pathologie toxique professionnelle et environnementale 3ème éd Eska Paris p. 672.
- Vaidya CO. Rantala TTR. 1996. A comparative study of analytical methods determination of heavy metal in mussels (*Mytilis edulis*) from eastern Canada. Int. Environ. Anal. Chemistry., 63 (3): 179-185.
- Viala A. et Grimaldi F. 2005. Ecotoxicologie. In : Viala A. et Botta A. Eléments de toxicologie 2è éd Tec & Doc., Lavoisier Paris. Pp. 245-251.
- Xu J. Lian L. Wu C. Wang XF. Fu WY. Xu LH 2008. Lead induces oxidative stress DNA damage and alteration of p53 Bax and Bcl-2 expressions in mice. Food and Chem. Toxicol., 46:1488-1494.

#### 4.1.4. Publication n°4 : Contamination de forages par 76 molécules de pesticides dans la zone cotonnière de Kérou (Bénin) dans le Bassin du Niger

ELEGBEDE<sup>1,3</sup> Bernadin, EDORH<sup>2,3</sup> A. Patrick, CLEDJO<sup>4</sup> Placide, KOUMOLOU<sup>3</sup> Luc, BOKO<sup>4</sup> Michel, Messanvi GBEASSOR<sup>5</sup>, E. E. CREPPY<sup>6</sup>  
*Academy Journal of Environment Sciences and Technology, AJEST, 11-368 Elegbede et al., 2011*  
=@=

Ce quatrième article sur les pesticides est une suite de la troisième publication qui avait déjà mis en évidence les métaux toxiques dans l'eau de boisson. Il permettra donc de vérifier l'assertion selon laquelle les produits phytosanitaires contaminent les eaux souterraines et les eaux de surface. Intitulé « Contamination de forages par 76 molécules de pesticides dans la zone cotonnière de Kérou dans le Bassin du Niger » il met clairement en exergue les nuisances biochimiques des intrants agricoles sur l'eau.

Il s'est focalisé sur la qualité de l'eau de cinq forages pris au hasard et repartis géographiquement dans trois arrondissements sur les quatre que compte cette Commune cotonnière de Kérou. Les prélèvements ont été faits en deux temps, suivants les règles et méthodes standardisées pendant la période de crue en juillet et pendant la période d'étiage en décembre. Les résultats d'analyses obtenus ont révélé que la totalité des forages prospectés ont été contaminés à des degrés différents selon leur position par rapport au champ de coton ou leur situation par rapport au fleuve Mékrou. Au total, 76 molécules de pesticides ont été détectés avec une moyenne de 0,345 mg/L ou 345 µg/L. Pour certains molécules, les concentrations dépassent largement les normes, il s'agit de l'aldrine (7 µg/L # 0,7 µg/L), du dieldrine (2 µg/L # 0,7 µg/L), du phorate (7 µg/L # 2 µg/L) et de terbufos (7 µg/L # 1 µg/L). On trouve toutefois d'autres insecticides comme le DDT et ses métabolites. Les herbicides sont constatés à l'état de traces ainsi que certains fongicides, toutefois, il existe des pics au niveau de certains échantillons avec des teneurs pouvant atteindre 9 µg/L, sans doute en relation avec l'état de contamination des sols. Les concentrations cumulées par forage sont relativement du même ordre de grandeur (345 µg/L) ; elles sont largement au-dessus de la norme (2 µg/L). Les teneurs moyennes en HCH, un des isomères du lindane, qui a été décelé dans tous les forages sont supérieures à la limite de la norme (0,1 µg/L). Il est souligné que l'endosulfan a été détecté dans l'ensemble des eaux contaminées. Il se présente sous ses deux formes isomères : l'α endosulfane et le β endosulfane. Les concentrations maximales mesurées sont identiques dans tous les échantillons et sont respectivement de 1 µg/L et de 4 µg/L. ajoutés à l'endosulfan sulfate, elles sont de 7 µg/L dans le Mékrou et de 6 µg/L dans les

forages. Leur présence dans tous les forages laisse présager d'une utilisation généralisée de ces produits malgré les restrictions d'emploi. Par ailleurs, la persistance et la rémanence de certains pesticides ne peuvent expliquer à elles seules les valeurs rencontrées même si plusieurs concentrations n'excèdent pas la norme pour l'eau potable. La comparaison des concentrations cumulées entre zones permet de déceler que la commune de Kérou avec ses 27.889 habitants compte les forages les plus contaminés (363 µg/L). Ces résultats sont alarmants au regard des recommandations sur la qualité des eaux destinées à la consommation humaine. Les autres résidus de pesticides trouvés sont parfois spécifiques à certaines zones : la dieldrine est surtout dans le Mékrou tandis que l'aldrine est partout dans la zone. Les concentrations en dieldrine sont respectivement de 9 µg/L dans la rivière et de 1 µg/L dans les forages. Certains pesticides organophosphorés présentent des teneurs moyennes les plus élevées dans un échantillon moyen, toutes zones confondues, avec notamment le malathion (7 à 9 µg/L). Les niveaux de ces concentrations, pourraient trouver leurs explications dans l'utilisation abusive et fréquente des molécules actives pour le traitement des cultures (Quinio, 1981 ; Diallo, 1997). Leur présence dans le milieu, malgré leur aptitude à se dégrader rapidement dans l'environnement traduit, non seulement une forte utilisation de ces produits, mais également la proximité des plantations et parfois la mauvaise protection des forages. Les pesticides organochlorés étaient aussi présents dans toutes les eaux contaminées. L'échantillon moyen contient du lindane (5 µg/L), de l'endosulfan (6 à 7 µg/L), de l'heptachlore (4 à 8 µg/L) et de la dieldrine allant jusqu'à 9 µg/L dans le forage de Brignamaro (F16). Egalement, leur présence à ce jour malgré les différentes interdictions Tomlin (1997) et Ramade (1992) dont ils font l'objet, pourraient être dues à leur persistance dans l'environnement, Vennetier (1988) ou à une utilisation frauduleuse. Les résidus de pesticides sont omniprésents dans la majorité des nappes échantillonnées. En gros, certains des pesticides détectés sont interdits depuis des années, ce qui indique qu'ils sont non biodégradables et persistent encore dans le sol et qu'ils s'infiltrent lentement dans les eaux souterraines ou qu'ils sont encore utilisés frauduleusement de nos jours surtout par le biais de la perméabilité des frontières avec le grand voisin du Nigéria.

C'est le cas des organochlorés (endosulfan, lindane, heptachlore) qui prédominent dans les eaux des zones cotonnières. Ailleurs, les pesticides les plus remarquables sont les organophosphorés (profenofos, malathion) et des insecticides. Ceci montre que dans la zone, les cultures sont très diverses et occupent de grandes superficies. Pour cette raison, les pesticides employés sont très variés et en grandes quantités. Cela témoigne de nombreux

problèmes phytosanitaires que rencontrent les cultures. Les résultats de nos analyses montrent que l'eau souterraine n'est pas forcément de bonne qualité contrairement à la croyance traditionnelle qui suppose que le sol débarrasse l'eau de ses contaminants lors de son infiltration vers la nappe souterraine.

# Contamination of boreholes water by 76 pesticides molecules in the cotton zone of Kerou

ELEGBEDE<sup>1,3</sup> Bernadin, EDORH<sup>2,3</sup> A. Patrick, CLEDJO<sup>4</sup> Placide, KOUMOLOU<sup>3</sup> Luc, BOKO<sup>4</sup> Michel, Messanvi GBEASSOR<sup>5</sup>, E. E. CREPPY<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Direction Départementale de l'Hydraulique, Ouémé-Plateau, 04 BP 1412, Bénin.

<sup>2</sup>Département de Biochimie et de Biologie Cellulaire, Université d'Abomey-Calavi (UAC), 01 BP 526 Cotonou, Bénin.

<sup>3</sup>Centre Interfacultaire de Formation et de Recherche en Environnement pour le Développement Durable (CIFRED), Université d'Abomey-Calavi (UAC), 03 BP 1463, Jéricho, Cotonou, Bénin.

<sup>4</sup>Laboratoire Pierre Pagny : Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE), Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines, Université d'Abomey-Calavi, 03 BP 1122 Cotonou, Bénin.

<sup>5</sup>Département de Physiologie/Pharmacologie, Faculté des Sciences, Université de Lomé (UL), BP 1515 Lomé, Togo.

<sup>6</sup>Laboratory of Toxicology and Applied Hygiene/UFR of Pharmaceutical Sciences, 146, Street Léo Saignat, 33076 Bordeaux Cedex France

\*Auteur pour la correspondance : ELEGBEDE Bernadin. Tél : 00 (229) 97 27 55 15, E-mail: Elegbedebern@yahoo.fr

## Abstract

A campaign of underground water withdrawal has been done in 2010 in wells situated in agricultural zone (zones An analysis according to underground water multi - residues technique (water of forages) has been done in 2010 on samples of 5 forages water situated in agricultural zone (sites of cotton culture). results showed the presence of numerous active matters (76 residues of pesticides), mainly insecticide, but also herbicides and fungicides, with the accumulated contents which can reach 0,350 mg/Ls on average by forage, that's 350 µg/L. The totality of forages prospected is contaminated. All molecules of pesticides analyzed were present at least up to 1 µg/L. for certain molecules concentrations exceed norms highly: this is about the aldrine (7 µg/L # 0,7 µg/L), the dieldrin (2 µg/Ls #0,7 µg/Ls), the phorate (7 µg/Ls #2 µg/L) and terbufos (7 µg/Ls #1 µg/L). The most affected zones by this contamination of the underground water by pesticides are those where cotton agriculture are practiced.

**Keywords:** Kérou, cotton culture, water of boreholes, pesticides.

## 4.1.4.1 Introduction

The human food, health and all activities depend on the availability in sufficient quantity and quality of water. The subsoil waters, principal resources of drink water, supplied with the rainwater which penetrates by gravity in the pores and cracks of the rocks, form inside the impermeable layers, the tablecloths (Benaabidate, 2000). The wells and drillings give access to these last. In village hydraulics, out of the 2153 wells with were diameter and the 4291 drillings equipped with pumps with human motricity which account the Benin one, the commune of Kérou counts only 30 wells and 102 drillings (Elegbede, 2007). This work proposed to focus the attention on these

drillings for a certain number of reasons. Initially the great water consumption does not come from the wells which are besides in a very reduced number, but from drillings. The committed chemical fight to protect the cultures from cotton largely contributed to increase and regularize the agricultural outputs. However, the agrochemical products are accused in the deterioration of the quality of water as well surface as underground (Hani et al., 1997). Thus, of the insecticide residues, of weedkillers and fungicides were already detected in water reserves (stoppings, lakes, lagoons) and even in the food (Calvert, 1992, Traore et al. 2003). The contamination of surface water is the consequence of the pollution of the grounds by the plant health treatments and the streaming of water

through the treated zones (Bedding et al., 1983, Cabrindec, 1988). The infiltration of this water towards the ground water constitutes a subject of concern today. Especially that the plant health products are suspected to having undesirable side effects for the human being (Gibons et al., 1987, Fournier et al., 2000) and the environment. To evaluate the state of contamination of subsoil waters, a sampling campaign of water of well was carried out in December 2010 in the commune of Kérou. The objective of this work lay in the identification of the residues of pesticides and their impact on the quality of water.

#### 4.1.4.2 Material and methods

##### Tally of study

The Commune of Kérou is limited in North - West by the Commune of Tanguieta with which it divides the Pendjari Park and in the

North-East by the Commune of Banikoara, first cotton producer at the national level. In the South, it divides its borders with the cotton belt of Péhonco, Kouandé and Sinendé. It is subdivided in four Districts which are: Brignamaro, Kérou Center, Kaobagou and Firou.

The climate of the area is governed by the Northern Soudanien mode characterized by two distinct seasons: dry, from October to April and rainy, from May to September.

##### Sampling and analysis

For economic reasons, only 5 drillings were retained for the study and their water was taken and analyzed. The samples were carried out by drilling in December which corresponds to the dry season to better evaluate the increase in the concentration of the molecules of pesticides.

Table XII illustrates the distribution of drillings (F1, F10, F14, F16, and F19) in the districts of the commune.

**Table XII: Distribution of drillings (F) in the districts of Kérou**

Drillings	Districts	Populations (PDC, 2006)	Area
F1	Firou	10.204	Gone Firou
F10	Kérou	27.889	Konigourou Centers
F14	Brignamaro	12.687	Ouinra-center
F16			Banbaba
F19			Mékrou river

The river Mékrou (F19) was taken like witness because the exchanges between the rivers and the underground tablecloths are permanent.

The water samples are collected with a sampler out of glass and are transferred in amber bottles washed beforehand and decontaminated (Rodier, 1976, Keith, 1990, Saliot *et al.*, 1992). An aluminum foil is placed on the neck in order to prevent any contact between the sample and the stopper of plastic. These samples are preserved in the ice during their

transport and then preserved at 4 °C until their analyses.

##### 4.1.4.3 Results

The results of proportioning are consigned in table XIV and are represented below in forms of the histograms on figure 1 and figure 2.



**Table XIII: Results of proportioning of the water samples in pesticides**

Pesticide	Result on the level of drillings (mg/L)					Result on the level of drillings (mg/L)					Pesticide
	F10	F16	F1	F14	F19	F10	F16	F1	F14	F19	
2,4-DDE	0,005	0,003	0,007	0,004	0,003	0,008	0,006	0,009	0,009	0,009	Fensulfothion
2,4-DDE	0,002	0,009	0,001	0,006	0,006	0,007	0,008	0,004	0,004	0,004	Fenthion
2,4-DDT	0,003	0,004	0,004	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	Fonofos
4,4-DDE	0,009	0,006	0,009	0,006	0,006	0,005	0,004	0,006	0,006	0,006	Formothion
4,4-DDE	0,004	0,006	0,008	0,001	0,001	0,004	0,006	0,008	0,008	0,008	HCH alpha
4,4-DDT	0,006	0,001	0,004	0,004	0,005	0,004	0,002	0,002	0,002	0,002	HCH beta
Aldrin	0,006	0,008	0,007	0,009	0,009	0,008	0,006	0,004	0,004	0,004	Heptachlor
Azinphos-ethyl	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,005	0,001	0,002	0,002	0,002	Epoxy Heptachlor has
Azinphos-methyl	0,008	0,009	0,006	0,005	0,005	0,006	0,004	0,006	0,006	0,006	Heptachlor epoxy B
Bromophos	0,002	0,004	0,004	0,004	0,004	0,001	0,009	0,006	0,006	0,006	Hexachlorobenzene (HCB)
Bromophos-methyl	0,009	0,005	0,008	0,008	0,008	0,005	0,001	0,008	0,008	0,008	Iodofenphos
Carbophenothion	0,004	0,006	0,001	0,001	0,001	0,004	0,005	0,001	0,001	0,005	Isofenphos
Chlorbenside	0,005	0,004	0,006	0,006	0,006	0,006	0,004	0,005	0,005	0,005	Lindane (gamma HCH)
Chlorfenvinphos	0,006	0,008	0,004	0,004	0,004	0,007	0,008	0,004	0,004	0,004	Malathion
Chlormephos	0,004	0,002	0,003	0,003	0,003	0,009	0,001	0,004	0,004	0,004	Mecarban
chlorpyriphos ethyl	0,008	0,005	0,005	0,005	0,005	0,001	0,006	0,001	0,001	0,001	Methidation
Chlorpyriphos-methyl	0,002	0,004	0,001	0,001	0,001	0,006	0,004	0,005	0,005	0,005	Mevinphos
Chlorthiophos	0,005	0,006	0,006	0,006	0,006	0,008	0,003	0,004	0,004	0,004	Omethoate
Demeton-s-methyl-sulfone	0,004	0,007	0,009	0,009	0,009	0,002	0,005	0,001	0,001	0,001	Parathion
Dialiphos	0,006	0,009	0,002	0,002	0,002	0,006	0,001	0,006	0,006	0,006	Parathion-methyl
Diazinon	0,007	0,002	0,009	0,009	0,009	0,004	0,006	0,009	0,009	0,009	Pentachloroaniline
Dichlofenthion	0,009	0,004	0,001	0,001	0,001	0,009	0,009	0,006	0,006	0,006	Phorate
Dichlorvos	0,002	0,001	0,004	0,004	0,004	0,005	0,002	0,005	0,005	0,005	Phosalone
Dicofol	0,004	0,006	0,004	0,004	0,004	0,008	0,009	0,008	0,008	0,008	Phosmet
Dieldrin	0,001	0,009	0,001	0,001	0,001	0,008	0,001	0,006	0,006	0,006	Phosphamidon
Diethion Dimethoate	0,006	0,004	0,006	0,006	0,006	0,001	0,004	0,001	0,001	0,001	Profenofos
Dosimfptp,	0,009	0,006	0,009	0,009	0,009	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	Propetamphos
Dotamoufps	0,004	0,001	0,004	0,004	0,004	0,004	0,001	0,009	0,009	0,009	Pyrazophos
Edifenphos	0,006	0,004	0,006	0,002	0,002	0,008	0,006	0,001	0,001	0,001	Pyridafenthion
Endosulfan alpha	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,004	0,009	0,001	0,001	0,001	Pyrimiphos ethyl
Endosulfan beta	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,006	0,001	0,009	0,009	0,009	Pyrimiphos methyl
Endosulfan sulphates	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,007	0,006	0,001	0,001	0,001	Quinalphos

Endrin	0,004	0,001	0,008	0,008	0,008	0,006	0,004	0,005	0,005	0,005	Quintozene (PCNB)
Ethoprophos	0,002	0,008	0,002	0,002	0,002	0,001	0,003	0,005	0,005	0,008	Sulfotep
Etrimphos	0,001	0,002	0,005	0,005	0,005	0,004	0,005	0,004	0,004	0,004	Tecnazene
Fenamiphos	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005	0,001	0,008	0,008	0,008	Terbufos
Fenchlorphos	0,001	0,002	0,003	0,003	0,003	0,001	0,006	0,006	0,006	0,006	Thiometon

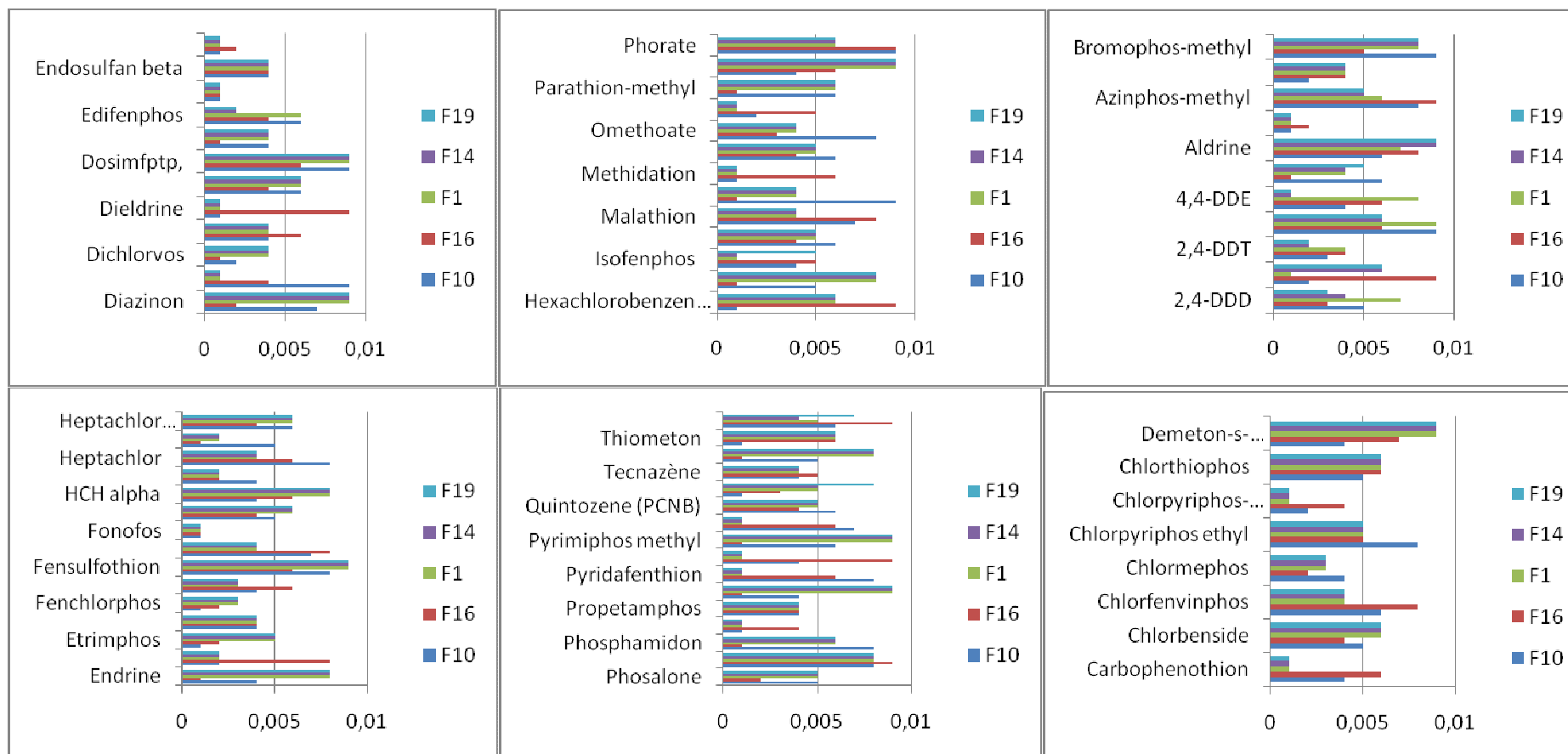
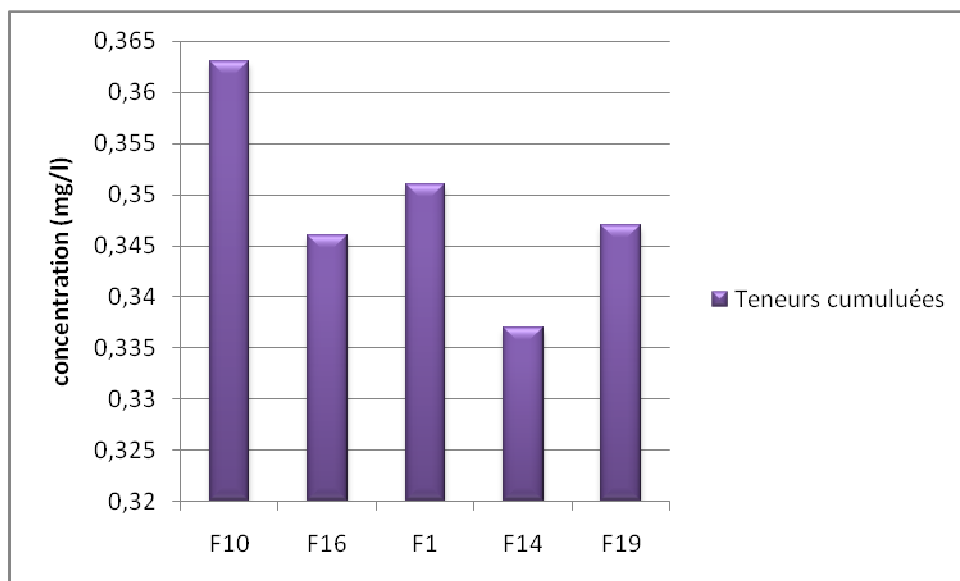


Figure 19: Contents of pesticides in water samples of boreholes

By cumulating the contents by drilling one obtains figure 2 below:



**Figure 20: Cumulated contents of pesticides in water of drilling**

#### 4.1.4.4 Discussion

The analysis of the water samples of 5 drillings in the cotton zone of Kérou showed that pesticides are detected in approximately the totality of the drillings sampled close to the cotton plantations. As a whole, according to Table 2 and Figure 1, all the five prospected drillings are contaminated by the plant health products. Several different pesticides are detected at the same time in the water samples, which are main source of drinking water. The detected residues of pesticides (76 in the whole) including/understand: the insecticides, but also weed killers and fungicides, with cumulated contents being able to reach on average 0,345 mg/L per drilling, eg 345 µg/L. The totality of prospected drillings is contaminated. All the molecules of pesticides analyzed were present for at least at 1 µg/L. for some molecules, the concentrations largely exceed the standards: is for aldrin (7 µg/L # 0,7 µg/L), dieldrin (2 µg/L # 0,7 µg/L), phorate (7 µg/L # 2 µg/L) and terbufos (7 µg/L # 1 µg/L). One discovered however other insecticides like DDT and his metabolites. The weedkillers are detected with the state of traces like certain fungicides, however, it exists peaks at the level of certain samples with levels of concentrations that can reach 9µg/L, undoubtedly in relation to the state of contamination of the grounds. The concentrations cumulated by drilling are relatively of same size (345 µg/L); they are largely above the standard (2 µg/L).. Average contents of HCH, one of the isomers of the lindan, which was detected in all drillings are higher than the limit of the standard (0,1 µg/L). The endosulfan was detected in the all of contaminated water. It is presented in its two isomer forms: the  $\alpha$  endosulfan and the  $\beta$  endosulfan.

The maximum concentrations measured are identical in all the samples and are respectively 1 µg/L and 4 µg/L. added with the endosulfan sulphate, they are 7 µg/L in the Mékrou and 6 µg/L in drillings. Their

presence in all drillings lets predict of a generalized use of these products despite the restrictions in their employment. In addition, the persistence and the remanence of certain pesticides cannot alone explain the values recorded even if several concentrations do not exceed the standard for drinking water. According to Figure 2, the comparison of the concentrations cumulated between zones makes it possible to detect that the commune of Kérou with its 27.889 inhabitants counts the most contaminated drillings (363 µg/L). This concentration is equivalent to 726 times the value guides (0, 5 µg/L). These results are alarming in comparison with the recommendations on the quality of the water intended for human consumption (WHO, 1994). The other residues of found pesticides are sometimes specific to certain zones: the dieldrin is especially in Mékrou while the aldrin is everywhere in the zone. The dieldrin concentrations are respectively 9µg/L in the river and 1 µg/L in the districts. No residue was detected with concentrations lower than 0, 1 µg/L imposed (standard for only one residue). Certain organophosphorous pesticides present the average concentrations highest in average sample, all zones together taken, with in particular the malathion (7 to 9 µg/L). The levels of these concentrations, could find their explanations in the abusive frequent use of these active molecules for the treatment of the cultures (Quinio, 1981, Diallo,1993). Their detection in the medium, despite their capacity of being degraded quickly in the environment (Tomlin, 1997) represented not only their strong use but also the proximity of the plantations and sometimes the weak protection of the drillings.

The organochlorinated pesticides were also present in all contaminated water.

The average sample contains lindane (5 µg/L), in dosulfan (6 to 7 µg/L), heptachlore (4 to 8 µg/L) and dieldrin going up to 9 µg/L in the drilling of Brignamaro (F16). Their presences to date in spite of various

prohibitions (Ramade, 1992, Tomlin, 1997) that they are subject to, could be due to their persistence in the environment (Vennetier, 1988) or to a fraudulent use. The residues of pesticides are omnipresent in the majority of the sampled tablecloths. Approximately, some of the detected pesticides are prohibited since years (Vennetier, 1988) which indicates that they are nonbiodegradable and still persist in the ground and that they infiltrate slowly in subsoil waters or that they are still used fraudulently nowadays especially by the means of the permeability of the borders with the large neighbor of Nigeria. In fact the case of organochlorinated (endosulfan, lindane, heptachlore) prevails in water of the cotton zones. Elsewhere, the most remarkable pesticides are organophosphorous (the profenofos, malathion) and others finally are insecticides. This shows that in the zone, the cultures are very diverse (Vennetier, 1988) and occupy of large surfaces. For this reason, the pesticides employed are very varied and in great quantities. That testifies to the many plant health problems that the cultures meet. Also they receive very intensive chemical treatments, in particular with the nematicides and fungicides, the weedkillers. The results of our analyses show that the subsoil water is not necessary of good quality contrary to the traditional belief which supposes that the ground removes from water all its contaminants at the time of its infiltration towards the underground tablecloth. The moisture-holding capacity of the micropolluants by the ground is related to its chemical nature, with its lithographic structure, its high content in organic matter and the depth of the underground tablecloth.

#### **4.1.4.5 Conclusion**

The analyses carried out on water of drillings show a contamination by the pesticides with low disparities of contamination according to the zone of culture considered, even if certain drillings were contaminated than others. It is about a situation of contamination generalized with the simultaneous presence of several molecules of pesticides (76) to concentrations sometimes higher than the standard relating to drinking water. These contaminations are sometimes specific or punctual, during the handling of the products, the filling or the rinsing of the pulverizes; they are generally diffuse, after the application of the products, by streaming towards surface water, and/or by infiltration towards subsoil waters. This report constitutes one of the principal problems of public health in the zones of field crop, because the cumulative effects in the long run of the whole of these products on health, still little known, are nevertheless to fear. It is a growing concern, knowing that water is consumed in great quantity. There is thus a real risk of attack to health. And this risk is all higher as the molecules present are used more and more in significant quantity in the zone of studies and also stable in water. Added to this, the risk related to the vulgarizing made of the use of the plant health products. Have regard all that precedes, it is advisable to recall that the most effective means to decrease the medical risk, remains the reduction of the risk to the source i.e. the pollution of the grounds. This reduction thus challenges the use of the artificial fertilizers and the pesticides in the culture of cotton. For this purpose, it would be advisable to educate the farmers on the application of the intrants and any form of husbandry which is likely to expose the populations especially the children to the risks related to the consumption of drinking water and other foodstuffs.

#### 4.1.4.6 References

- Bedding N., McIntyre A., Perry R., Lester J. (1983). Organic contaminants in the aquatic environment II- Sci. Total Environ., 26 255-312.
- BENAABIDATE L., (2000) Caractérisation hydrologique du bassin versant de Sebou : hydrogéologie, qualité des eaux et géochimie des eaux thermales. Thèse Doc. Es-sc., F.S.T. Fès, 250 .
- Cabrindec R., (1988) Comportement des substances chimiques en milieu aquatique en fonction de leurs propriétés physicochimiques. Océanie, 14 735-49.
- Calvert R. (1992). Considérations générales sur le transfert des produits phytosanitaires dans l'eau. Un point sur la protection de plantes. Paris : INRA,
- Diallo S. (1993). "L'agriculture urbaine en Afrique de l'Ouest: revue et perspective de recherche." Cities Feeding People Report 5, IDRC, Ottawa, Canada.
- Elégbédé MB, (2007). Pollution de l'eau des puits et de la nappe phréatique par les pratiques humaines et son impact sur la santé des populations dans la commune de Kerou, premier producteur du coton dans les départements de l'Atacora/donga. DEA, p.111.
- Fournier M. P., Brousseau, Bernier J., Cyr D., Pillet S., Rooney A., (2000). Les perturbateurs endocriniens, Université du Québec, INRS, Institut Armand-Frappier – Santé humaine, 171.
- Gibons S. M., Hoss V. G., Laseter L. J., Rea W. J. (1987) Physician's Clinical Guide - A clinical guide to toxic chemicals ; enviro-health information center, Richardson, Texas, 87-89.
- Hani K., Narcisse. A., Traoré S. K., Koné M., Dembelé A., Houenou P., (1997). Recueil des travaux scientifiques des 3èmes Journées annuelles de la SOACHIM, Lomé.
- Keith L. H. (1990). Environmental sampling : a summary. Environ Sci Technol, 24 610-617.
- WHO (1994) : Water quality guidelines. Geneva, OMS 1.
- Quinio J. (1981). : Pollution des eaux superficielles par les pesticides organochlorés. Etude de niveau et des facteurs de contamination. Conséquences au niveau de la potabilisation des eaux. Mémoire section ingénieurs. ENITRIS, Strasbourg.
- Ramade F. (1992). Précis d'écotoxicologie. Masson, Paris, 300.
- Rodier J. (1976). L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de marée. 5e éd. T. II, Bordas, Paris, 364.
- Saliot A., Bouloubassi I., Lipiatou E. (1992). Stratégies d'échantillonnage et d'analyse appliquées à l'étude des polluants organiques dans les eaux côtières. Hydroecol Appl, 4: 9-12.
- Traoré S.K., Koné M., Dembelé A. (2002). J .Soc. Ouest – Afr. Chim., 013: 99-109.
- Traoré S. K., Koné M., Dembelé A., Lafrance P., Houenou P. (2003). Etude comparative du niveau de résidus de pesticides organochlorés chez trois espèces de poissons du lac de Buyo (sud-ouest de la Côte d'Ivoire) et estimation du potentiel de risques pour la santé humaine, J.Soc. Ouest – Afr. Chim., 016 : 137-152.
- Tomlin C.D.S. (dir.) (1997). The Pesticide Manual: a World Compendium, 11e éd., The British Crop Protection Council, Farnham, Surrey, UK, 1606 .
- Vennetier P. (1988). "Urbanisation, production agricole et autosuffisance alimentaire: réflexions sur le cas africain", Cahiers d'outre-mer, 41 : 163.
- Willoughby, (1999). OH Farm chemicals Handbook Insecticide used to control small fruits, coffee, tea Willoughby, OH: Meister Publishing Co. 162.

#### **4.1.5. Publication n°5 : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation de l'eau contaminée par le plomb dans la zone cotonnière de Kérou (Benin) dans le bassin du Niger**

ELEGBEDE<sup>1\*</sup> Bernadin, EDORH<sup>2 4</sup> A. Patrick, AGBANDJI<sup>3</sup> Lucien, HOUNKPATIN<sup>4</sup> S. Armelle, RIHN<sup>5</sup> Bertrand, BOKO<sup>6</sup> Michel  
*South Asian Journal of Experimental Biology (SAJEB), 10101, 2011*

==@==

La cinquième publication vient en complément de la quatrième avec la mise en évidence du plomb dans l'eau de boisson. L'étude s'est proposé d'évaluer les risques d'exposition sanitaire au plomb par l'intermédiaire de la consommation de l'eau de boisson dans la zone d'étude située dans le bassin hydrographique du Niger. A cet effet, l'eau de 18 forages a été prélevée et celle du fleuve Mékrou, dans la mesure où cette eau est aussi largement utilisée par la population comme l'eau de boisson. Les différents dosages ont été faits au laboratoire suivant une méthode appropriée qui a permis d'évaluer la dose journalière admissible (DJA). Cette méthode standardisée comporte quatre procédures principales d'évaluation :

- l'identification du potentiel dangereux du plomb ;
- l'estimation de la relation dose-effet ou dose-réponse ;
- l'évaluation des expositions qui permet d'identifier les populations qui ont été, sont, ou seront et des durées d'exposition ;
- la caractérisation du risque.

A l'issue des analyses la concentration moyenne trouvée 79,65 µg /L dans l'eau de cet espace d'étude est supérieure à celle de l'OMS. Cette concentration a permis d'évaluer la Dose Journalière d'Exposition (DJE) qui se calcule pour un métal en croisant les données de consommation de l'aliment contaminé par le métal avec la moyenne des teneurs du toxique mesurées dans l'échantillon.

Cette DJE est de 12,54 µg /kg/j pour l'enfant et 3,85 µg /kg/j pour adultes. Ces valeurs ne comportent pas encore la quantité probable de plomb apportée par l'Alimentation Journalière Moyenne (AJM) qui est indispensable à considérer dans les calculs selon (AFSSA, 2003). Le calcul complémentaire de l'apport alimentaire en plomb a permis d'obtenir respectivement 15,14 µg /kg pour enfant et 4,65 µg /kg pour adulte. La Dose Journalière d'Exposition totale au plomb est plus faible chez les adultes (4,65 µg /kg/j) que chez les enfants (15,14 µg /kg/j).



Le quotient de danger qui en résulte est le rapport de DJE sur la Dose Journalière Tolérable (DJT=3,5 µg/kg/j). Ces quotients sont très largement supérieurs à 1 pour les enfants (4,20) et plus proches de 1 pour les adultes (1,29). Les résultats montrent que les enfants paient un double tribut à cette pollution par le plomb seul car, non seulement ils sont plus exposés (15,14 µg /kg/j > 4,65 µg /kg/j) mais aussi leurs organismes sont plus fragiles. Il y a un excès de risque pour une consommation moyenne de 1 litre d'eau contaminée par jour, ce qui n'est pas le cas chez les adultes où le risque s'avère théoriquement moins élevé. Les DJE au plomb, via la consommation de l'eau de boisson se sont avérées en général plus élevées par rapport à la DJE apportée par l'alimentation générale (12,54 µg /kg/j > 2,60 µg/kg/j) ; ce qui suppose que l'exposition au plomb est plus importante via la consommation d'eau que par d'autres sources alimentaires. Avec ces résultats, le risque d'inhibition des enzymes responsables de la synthèse de l'hème est complète pour 90 µg /dL (Landrigan et Tod, 1997). De même, le plomb ralentit le transfert de fer nécessaire à l'élaboration de l'hème à partir de 15 µg /dL chez l'enfant et 25-30 µg /dL chez l'adulte. Cet empoisonnement peut atteindre le tube digestif, le sang, les reins et le système nerveux central (Beauchamp, 2003).

Cette recherche permet de tirer sur la sonnette d'alarme au sujet du risque de saturnisme qui pèse sur la population dans cette zone d'étude.

# Health risk assessment through the consumption of water contaminated by lead in the cotton zone of Kerou (Benin) in the watershed of Niger

ELEGBEDE<sup>1 4\*</sup> Bernadin, EDORH<sup>2 4</sup> A. Patrick, AGBANDJI<sup>3</sup> Lucien,  
HOUNKPATIN<sup>4</sup> S. Armelle, RIHN<sup>5</sup> Bertrand, BOKO<sup>6</sup> Michel

<sup>1 4</sup>State Department of water, Oueme-Plateau, 04 BP 1412, Benin.

<sup>2.4</sup> Biochemistry and Cellular Biology Department, Faculty of Sciences and Techniques,  
University of Abomey- Calavi (UAC), 01BP 526 Cotonou, Benin

<sup>3</sup> Biochemistry and Cellular Biology Department, Faculty of Sciences and Techniques,  
University of Abomey- Calavi (UAC), 01BP 526 Cotonou, Benin.

<sup>4</sup> Interfaculty Centre of Training and Research in Environment for Sustainable Development  
(CIFRED), University of Abomey (UAC), 03 BP 1463 Jericho Cotonou, Benin ..

<sup>5</sup>Unit Inserm U525, Faculty of Pharmacy, 30 street Lionnois, 54000 Nancy, France

<sup>6</sup>Laboratoire Pierre Pagny: Climate, Water, Ecosystems and Development (LACEEDE), 03  
BP 1122 Cotonou, Benin.

\* Author for correspondence: ELEGBEDE Bernadin. Tel: 00 (229) 97 27 55 15, E-mail:  
E-mail: Elegbedebern@yahoo.fr

---

## Abstract

This survey is an assessment of risks associated with consumption of contaminated drinking water by lead in the cotton zone of K erou. Lead (Pb) was measured by atomic absorption spectrophotometry and risk assessment was made following a standardized method. The results obtained showed that 22% (7/18) of studied boreholes have been contaminated by Lead. In addition, boreholes of Ganbor e and Korigourou showed relatively high value of lead which are respectively (0, 0613 and 0098 mg / l against the normal 0.04 mg / l). The risk assessment revealed that Daily Exposure Dose (DED) of lead through the consumption of drinking water in these three regions are the same and is 12.54 ug/kg for children and 3.85 ug/kg/day for adults compared to the standard of WHO, which is 3.6 ug/kg/day. These high values can be attributed to infiltration of residues of pesticides. Also, they can be attributed to contamination of groundwater by the river M ekrou containing wastewater rich in organic matter. This contamination and exposure are serious risks to human health and especially for children

**Key words:** Cotton culture-Lead pollution - Watershed- Health risks

---

### 4.1.5.1 Introduction

Studies highlighted the vulnerability of water of boreholes at pollution in the cotton zone of K erou (El egb ed e, 2011) by toxic metals, especially, by lead. The stack disposals of lead are mainly anthropic (Casas, 2005). Many authors highlighted the increase of factor in relation with human activities, during the last two centuries (Murozumi et al., 1969; Boutron and Patterson, 1983). The principal sources are still at the present time, the combustion of the automobile fuels in urban environment and the use of fungicides in rural mediums (Deluisa et

al. 1996; Harness-maker and Berthelin, 1998). This study proposes to evaluate the risks of exposure to lead via the consumption of drinking water in the commune of K erou for certain reasons. In fact, the clinical demonstrations of lead are related blood lead. However, the blood lead threshold which makes it possible to take cover from clinical signs is related to the DAD (Daily Allowed Dose of 3,5 ug/kg (WHO, 1986). Indeed, consumption by man contaminated food by lead can cause a blood concentration of 10 ug/dL; it can also cause the inhibition of the enzymes responsible for the synthesis of hem. This inhibition is complete for 90

µg/dL. (Landrigan and Tod, 1997). In addition, lead slows down the transfer of iron necessary to the development of hems starting from 15 µg/dL for child and 25-30 µg/dL for adult. Then follows an attack of digestive tract, blood (weakens) kidneys and nervous system (Beauchamp, 2003) which are general symptoms of lead poisoning. To avoid reaching this stage, it is advisable to evaluate quantitatively the level of exposure of population to lead, in particular, through the calculation of amount Dally Exposure Dose (DED) and the amount of danger quotient (QD). The choice of this evaluation is linked to the fact that the heavy metals, being at the same time, toxic and very widespread (Boutron and Patterson, 1983).

#### 4.1.5.2 Materials and methods

##### 4.1.5.2.1 Study area

Kerou municipality is limited at North - West by the Municipality of Tanguieta with which it shares the Pendjari Park and at North-East by the Municipality of Banikoara which is the largest producer of cotton at the national level. In the South, it shares its borders with the cotton belt of Pehonco, and Kouande Gogounou. It is divided into four Districts that are Brignamaro, Kerou, Centre Kaobagou and Firou. The climate of the region is governed by the North Sudanese regime characterized by two distinct seasons: a dry one from October to April and rainy from May to September. The study area is the second producer of cotton at the national level; it is located in the watershed of the Kérou

Niger which is controlled by the streams tributary of Pendjari such as the sota and Mekrou River. Rainfall gives around 900 to 1000 mm of rain per year. Its hydrogeology is dominated by Precambrian granitic-gneiss covered with a thick layer of clay-altered lateritic. Infiltration of rainwater is very intense due to the high density of the fracture network and the nature of the soil generally clay-lateritic with high permeability. The crystalline basement consists of igneous and metamorphic rocks is waterproof, facilitating runoff chemicals substances in the beds of rivers. These geological formations explain the nature and properties of soils which are extremely fragile. The area is dominated by cotton cultivation with uncontrolled use of pesticides and fertilizers. They are sometimes undeniable sources of metals found in the river and in groundwater.

##### 4.1.5.2.2 Treatment and analyze

Measurements of temperature, pH, total hardness and electrical conductivity were performed in situ. The pH of the water analyzed is measured using the pH-indicator strips.

The conductivity was measured by a conductivity meter. Most measurements of these parameters are normal for boreholes. Lead was analyzed in the laboratory by atomic absorption spectrophotometry according to the protocols (Anane et al., 1995; Vaidya et Al.; 1996). The data were represented by spots blots in Excel.

**Table XIV:** Distribution of drillings (F) in the districts of Kérou

Boreholes	Districts	Populations (PDC, 2006)	Areas
F1	FIROU	10.204	Firou
F2			Camp peul –EPP
F3			Manager ‘s farm
F4			Marékpo
F5	KEROU	27.889	Ganboré
F6			Gantodo EPP
F7			Toundagou
F8			Center
F9			Boni
F10			Konigourou Centers
F11	BRIGNANMARO	12.687	North- Kossou
F12			South- Kossou
F13			CCS
F14			Ouinra-center
F15			Bérékossou
F16			Banbaba
F17			Wodora
F18			Boukaro
F19	All Commune Kérou		Mékrou River

Mékrou River (F19) was taken to test the hypothesis of the interaction between groundwater and river, in fact drilling with high contents of lead are those who are closed to Mékrou River or situated in the field of cotton.

The river Mékrou (F19) was taken like witness because the exchanges between the rivers and the underground tablecloths are permanent. Moreover this water of the Mékrou river is largely consumed by the cotton farmers because of difficult access to drinking water in spite of the efforts of the various Benin governments

#### 4.1.5.2.3 Procedure of risks evaluation

- The identification of the dangerous potential of lead,
- the estimate of the relation amount-effect or amount-answer which aims at quantifying the relation between the amount of exposure and the response of the organization or its probability of answer,

- the evaluation of the exposures which makes it possible to identify the populations which were, are, or will be in contact with the dangerous agent as well as the ways, levels and exposure times corresponding was made on the basis of data of investigations presented in - The characterization of the risk, the step of synthesis, presentation and results discussion.

#### 4.1.5.3 Results

##### 4.1.5.3.1 Collection of the data of drinking water

Contents of lead exceed the standards in Toundagou (0, 0613 mg/kg) and Konigourou (0,098 mg/kg) boreholes. Those both boreholes are situated beside Mékrou River, where is recorded a very high concentration of lead above 0, 0604 mg/kg. Therefore Daily Exposure Dose (DED) of children (12,54 µg/kg) is largely exceed allowed limit by WHO which is of 3,5 µg/kg of body weight against 6,05

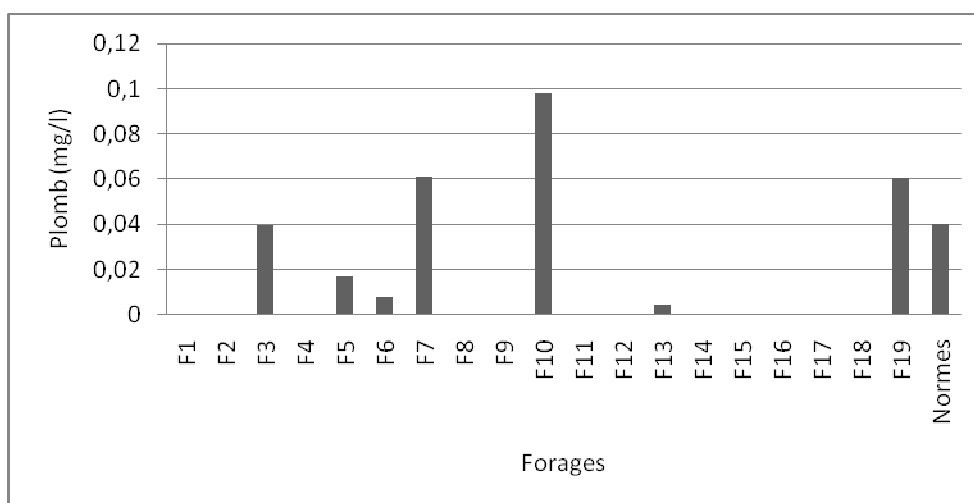
µg/kg for adults for which DED is 4,65 µg/kg.

**Table XV: Collected data on the level of consumption of water in the study zone**

Frequency of consumption	Quantity of water	% Children
3 times/day	0,5l	25
	1l	54
	1,5 l	10
	2 l	8
	2,5 l	3
Medium/child	1,05 l	

The water average consumed by child each time is the medium M :

$$M = (0.5L \times 25 + 1L \times 54 + 1.5L \times 10 + 2L \times 8 + 2.5L \times 3) / 100 = 1.05 L = 1.05 \text{ kg.}$$



**Figure 21: Measurement of lead in drinking water**

F20 represents standard WHO as regards potability of water (WHO, 2001).

**Table XVI: Contents of lead in the water samples**

Boreholes	Districts	Areas	Pb (µg/kg)
F1	FIROU	Firou	
F2		Camp peul – EPP	
F3		Manager ‘s farm	0.0394
F4		Marékpo	
F5	KEROU	Ganboré	0.0167
F6		Gantodo EPP	0.0079
F7		Toundagou	0.0613
F8		Center	-
F9		Boni	-
F10		Konigourou Centers	0.098

F11	BRIGNANMARO	North- Kossou	-
F12		South- Kossou	-
F13		CCS	0.0048
F14		Ouinra-center	-
F15		Bérékossou	-
F16		Banbaba	-
F17		Wodora	-
F18		Boukaro	-
F19		All Commune Kérou	Mékrou River
Drinking water norms			0.04

The average lead concentration found in water in Kérou commune is 0, 0796 ppm. This value will be considered in calculations. The ppm is the equivalent of  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . or the  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , meanwhile is equal to 0, 0796 ppm = 79,6  $\mu\text{g}/\text{kg}$ .

#### 4.1.5.3.2 Characterization of the risk: calculation of the Daily exposure dose (DED)

It is pointed out that Daily Exposure Dose is calculated by crossing data of consumption of food contaminated by metal with the average of contents of poison measured in the sample.

For water of drillings contaminated by Pb and consumed by children: we have

$$\text{DED child} = (\text{Qe} \times \text{Ce}) / \text{PC}$$

With:

DEDchild: proportion daily exposure dose for lead in  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$

Qe: average quantity of water consumed by a child in kg

Ce: average lead concentration measured in water in  $\mu\text{g}/\text{kg}$

PC: body weight of the consumer (child) in kg

$$\text{Qe} = 1.05 \text{ kg} \times 3 = 3.15 \text{ kg}/\text{day}$$

$$\text{Ce} = 79.65 \mu\text{g}/\text{kg}$$

PC = is 20 kg for children (French Agency of medical safety of food, 2003).

$$\text{From where: DEDchild} = (3.15 \text{ kg}/\text{day} \times 79.65 \mu\text{g}/\text{kg}) / 20 \text{ kg} = 12.54 \mu\text{g}/\text{kg}$$

For an adult average PC is 65 kg , DEDadult will give 3.85  $\mu\text{g}/\text{kg}$

To this calculated, DED must be added the exposure to lead via the general food.

**Table XVI** shows for a child, the quantity of lead brought by the Daily Average Food (DAF) and DED corresponds to quantity of lead from general food (French Agency of medical safety of food, 2003).

Daily Average Food (DAF) for child from 3 to 8 years = 52  $\mu\text{g}/\text{day}$

$$\text{DED child (20 kg)} = 2.60 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$$

$$\text{Thus the DED} = \text{DEDw} + \text{DEDf}$$

DED child = amount day laborer of total exposure to lead in  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{jour}$  for child

DEDw = Daily exposure dose brought by drinking water consumption  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$

DEDf = Daily exposure dose brought by general food  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ .

From where:

$$\text{DED child} = 12.54 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{j} + 2.60 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{j} = 15.14 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{j}$$

Theoretically, as meals are often the same ones within the hearths, for an adult, one will have:

$$\text{Adult DED} = (\text{DED child} \times \text{AV child}) / \text{adult AV}$$

DED child = Daily exposure dose for child  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$

Adult DED = Daily exposure dose for adult  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$

AV = Average Weight of an adult = 65 kg

AV child = Average Weight of child = 20 kg

$$\text{From where: Adult DED} = (15.14 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{day} \times 20) / 65 = 4.65 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$$

Calculation of the quotients of danger

The quotient of danger is defined by relationship between DED observed on average and the corresponding Daily

allowed Dose (DAD), according to formula:

$$QD = DED \text{ total}/DAD$$

With:

QD = quotient of danger;

DED total = Daily exposure dose  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$

DAD = Daily allowed dose (DAD)  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$  of lead or tolerable daily intake (DTI) =  $3.5 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$

- For children:

$$QD = 15.14 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{j} : 3.5 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{day} = 4.20$$

- For adults :

$$QD = 4.65 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{j} : 3.5 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{day} = 1.29$$

excess of risk for an average consumption of 1 liter of water contaminated per day, which is not the same case for adults where the risk proves theoretically lower. Result showed that daily exposure dose to lead, via the consumption of drinking water in general is greater proved more raised compared to DED brought by general food ( $12.54 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{day} > 2.60 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ ), which supposes that exposure to lead is more significant via the water consumption than by other food sources in this Commune. In addition, the observed data in study population can be extrapolated with whole of children of the area, because of nomadism phenomenon and risks of water consumption from Mékrou River where lead content exceeds the standard. The correlation which exists between tablecloths and surface waters can explain the strong concentration of lead obtained in drillings near the Mekrou River.

#### 4.1.5.4. Discussion

The evaluation of exposure to the lead of the targeted population in cotton belt of Kérou required an exploitation of two data sources: information brought by questionnaire of consumption and the results of measurements of lead in water samples of consumption (Table 3). Lead contents are very irregular from one region to another. In Kérou, contents which exceed the standards were recorded in Toundagou ( $0,0613 \text{ mg}/\text{kg}$ ) and Konigourou ( $0,098 \text{ mg}/\text{kg}$ ) boreholes. Those both boreholes are situated beside Mékrou river, where is recorded a very high concentration of lead above  $0,0604 \text{ mg}/\text{kg}$ . The DED of children ( $12,54 \mu\text{g}/\text{kg}$ ) is largely exceed allowed limit by WHO which is of  $3,5 \mu\text{g}/\text{kg}$  of body weight against  $6,05 \mu\text{g}/\text{kg}$  for adults for which DED is  $4,65 \mu\text{g}/\text{kg}$ . However, to this DEDf the amount day laborer brought by general food must be added (DEDf), since the children are exposed to this same metal via other food in the same way as population in general

Average daily contributions (ADC) and Daily expose Dose (DEDf) brought by general food just for lead are presented in table 3. It is supposed that other **foodstuffs** can be contaminated in the same way. Amount day laborer of total exposure to lead is weaker in adults ( $4,65 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{j}$ ) that children ( $15,14 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{j}$ ). Quotient of danger is in all cases (including for the maximum values of DED observed) very largely higher than 1 for children (4,20) and nearer 1 for adults (1,29). Thus, children pay a double tribute with this pollution by lead only because, not only they are more exposed ( $15,14 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{day} > 4,65 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ ) but their organism is also more fragile. There is an

#### 4.1.5.5 Conclusion

In regard to all that precedes and by knowing harmful effects of lead on health, it is significant to sensitize the population on the sources of potential contamination of water by this metal, which is mainly agriculture, lack of cleansing around drillings and bad management of the refuse. Accumulation of this lead in blood can cause pathology known under the name of lead poisoning. Followed steps with lead is the same one for cadmium (because this one also exceeds the standards in water of drilling in the commune) and molecules of pesticides with content higher the limits such as dieldrin and adrin (Elegbede, 2011)

#### 4.1.5.5 References

- French Agency for Food Safety, Institute of Health (2003). Methyl mercury. Program "mortality and morbidity of food-borne diseases" - Part Toxicology - Chemical contaminants and dietary risk in France, working paper.
- Beauchamp J., (2003). - Coastal pollution. DESS: Quality and Water Management, Univ. Picardie Jules Verne (France), 30 p.
- Bolnot F-H., Jean, C.Q., François B. (2004) .- Food safety: Talk about it!, 13 p.
- Boutron C. F., Patterson, C.C. (1983). - "The occurrence of lead in recent Antarctic firm snow over the last deposited Two centuries and prehistoric ice." Geochemistry. Cosmo chemistry. Acta. 47: 1355-1368.
- Must A. (2004). - Characterization of risks involved in agricultural activities on aquatic ecosystems. PhD thesis, ENGREF, Montpellier, France, 269 p.
- Galafi F, Ghannam, (2003) .- Pollution of marine environment. Intitut of agriculture and of veterinary Hassan II, Rabat (Ma), 115 p.
- Landrigan P. J, Todd A.C. (1997).- Lead poisoning. West J Med 161 (2): 153-159.
- MDGLAAT (2010).- Ministry of Decentralization, Local Governance, Administration and Planning,- The prefecture of Alibori-Borgou..
- Murozumi N., Chow T. J., Patterson C. C. (1969).- Chemical concentrations of pollutant lead aerosols, terrestrial dusts and sea salts in Greenland and Antarctic snow strata, Geochemistry. Cosmo chemistry. Alta, 33: 1247-1294.
- WHO/FAO. Joint FAO/WHO (1986).- Expert Committee on food additives. Sixty-first meeting. Summary and conclusions. 19-6.
- Peden M, Oyebite K, Ozanne-Smith J, Hyder AA, Branch C., Rahman FA, Rivara F (2009).- "Report on the prevention of child injuries" World Health Organization, 250 p.
- Ricoux C. et Gasztowtt B. (2005).-Assessment of health risks related to exposure of high consumers of seafood contaminated with toxic river environment. Working Paper, France, 65 p.



#### **4.1.6. Publication n°6 : Plombémie et bio marqueurs de toxicité au plomb via la consommation d'eau de boisson à Kérou (Bénin) dans le Bassin Hydrographique du Niger**

ELEGBEDE<sup>1,3\*</sup> Bernadin, EDORH<sup>2,3</sup> A. Patrick, AÏSSI<sup>3</sup> K. Alain, KOUMOLOU<sup>4</sup> Luc, Christophe KAKI<sup>5</sup>, GUEDENON<sup>3</sup> Patient, KOUDOVO<sup>4</sup> Koffi, MONTCHO<sup>3</sup> Sabine, BOKO<sup>6</sup> Michel

International Journal of Environmental Protection (IJEP)

User Name: elegbedebern@yahoo.fr

Password: freeman

La sixième et dernière publication intitulée « Plombémie et bio marqueurs de toxicité au plomb via la consommation d'eau de boisson à Kérou (Bénin) dans le Bassin Hydrographique du Niger » est un complément des précédentes, et permet d'apprécier l'état pathologique des consommateurs d'eau non seulement à travers la recherche des bio marqueurs indicateurs de toxicité dans le sang mais aussi à travers les enquêtes. Ces dernières ont permis de recueillir les maladies ou maux récurrents au sein des populations prélevées sur la base de questionnaires préalablement conçus.

En effet, plusieurs études ont déjà fait état de la pollution de l'eau (ELEGGBEDE, 2007) de l'atmosphère (Casas, 2005) par les activités anthropiques que sont la combustion des carburants, automobiles et l'usage des fongicides (Déluisa *et al.*, 1996) puis Bourlier et Berthilin (1998), à travers les différentes campagnes de prélèvement d'échantillons et de dosage. Ces résultats assez préoccupants ont mis notamment en évidence des teneurs élevées en éléments, traces métalliques (plomb, cadmium) et en pesticides.

Pour vérifier l'impact sanitaire de la pollution des eaux par les pesticides et les métaux toxiques, la présente étude a procédé au prélèvement du sang et l'urine de 39 riverains suivant les règles éthiques. Selon les protocoles Anane *et al.* (1995) et Vaidya et Rantala (1996), les teneurs du plomb (Pb) ont été dosées dans les échantillons d'eau de forages et de plasma sanguin par spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA). Les résultats obtenus ont été corrélés et présentés sous forme de blots pots.

Après analyse au laboratoire, le calcul de la Dose Journalière Admise (DJA) a montré des doses élevées des substances toxiques surtout le plomb dans le plasma pour enfant par rapports aux adultes qui sont respectivement 15,14 µg /kg/j et 4,65 µg /kg/j. Les quotients de danger qui donnent respectivement 4,20 et 1,29 pour les enfants et les adultes témoignent de la vulnérabilité des enfants et montrent que ces premiers sont plus exposés que les adultes.

La plombémie limite a été dépassée surtout dans les zones des forages F12, F16 et F18.

En effet, la consommation par l'Homme d'aliments contaminés par le plomb qui peut provoquer une concentration sanguine de 10 µg/dL, peut entraîner l'inhibition des enzymes responsables de la synthèse de l'hème. Cette inhibition est complète pour 90 µg/dL (Landrigan et Tod, 1997). On considère que la plombémie augmente à partir d'apports de 5 µg/kg/j. Le seuil de toxicité est défini comme une concentration de plomb dans le sang total supérieure à 60 µg/dL. Puis, vint la conviction que le plomb pouvait réduire l'intelligence et altérer le comportement à des plombémies inférieures à 60 µg/dL, c'est-à-dire aux niveaux insuffisants pour produire des symptômes évidents.

Ces résultats obtenus et corrélés du dosage du plomb dans le plasma et dans les eaux ont été confirmés par la vérification de l'intoxication de l'organisme des consommateurs à travers le dosage des bio- marqueurs indicateurs de toxicité tels que l'urémie, la créatinémie, les transaminases, le cholestérol total et le calcium urinaire de 39 individus.

Toute cette démarche méthodologique ont permis d'avoir les livrables des tableaux 1-2 et la figure 1 qui sont tous insérés dans l'article.

Il est constaté que les résultats des analyses se trouvent dans la fourchette normale à savoir 0,5 à 0,45 g/L pour l'urée. Seul un individu dispose d'une créatine de 14,4 mg/L légèrement supérieure à la norme de 14 mg/L.

Par rapport aux transaminases, le calcium, le fer, leurs taux sont inférieurs aux normes. Pour ce qui concerne les transaminases, la valeur guide (49 UI/L) n'est pas dépassée ; il est de même du calcium urinaire. Le calcium tout comme le fer est en concurrence avec les métaux lourds (Pb, Cd, Hg) : toute présence excessive de ces oligoéléments dans les urines ou les selles est une preuve de l'action des métaux qui auraient donc occupé la place de ces éléments sur les sites des enzymes qui seront donc inactives. Heureusement, que cette situation n'est pas encore observée mais par contre pour le cholestérol total, plusieurs cas de dépassement de la limite (2 g/L) ont été enregistrés.

Il est à reconnaître que les limites technologiques dans les laboratoires d'analyse et le manque de réactifs adéquats n'ont pas permis de rechercher les paramètres tels que ADAL (Acide Delta-Aminolivulinique-dshydrase) et le PPZ (Protoporphyrine-Zinc) qui devraient permettre de mieux diagnostiquer le saturnisme surtout chez les femmes enceintes.

Dans la même logique, les résultats des analyses de biomarqueurs ci-dessus décrits ont été appréciés à travers les enquêtes de terrain qui ont permis de recueillir les maladies ou maux récurrents au sein des populations prélevées sur la base de questionnaires préalablement élaborés. A l'issue de ces enquêtes, bien que les signes d'une intoxication au plomb ne soient

pas très marqués au niveau des paramètres biochimiques, il a été constaté que les individus prélevés présentent pour la plupart des symptômes du saturnisme conformément aux tableaux de l'article. Ce travail a le mérite de ressortir les torts que cause la culture du coton à la santé humaine et à l'environnement.

## **Blood lead levels and bio markers of lead toxicity via the consumption of drinking water in Kerou (Benin) in watershed of the Niger**

ELEGBEDE<sup>1,3\*</sup> Bernadin, EDORH<sup>2,3</sup> A. Patrick, K. AÏSSI<sup>3</sup> Alain, Luc KOUMOLOU<sup>4</sup>,  
Christophe KAKI<sup>5</sup>, GUEDENON<sup>3</sup> Patient, KOUDOVO<sup>4</sup> Koffi, MONTCHO<sup>3</sup> Sabine  
Michel BOKO<sup>6</sup>

<sup>1,3</sup> State Department of Water, Oueme-Plateau, 04 BP 1412, Benin.

<sup>2,3</sup> Biochemistry and Cellular Biology Department, Faculty of Sciences and Techniques, University of Abomey-Calavi (UAC), 01BP 526 Cotonou, Benin.

<sup>3</sup> Interfaculty Centre of Training and Research in Environment for Sustainable Development (CIFRED), University of Abomey (UAC), 03 BP 1463 Jericho Cotonou, Benin ..

<sup>4</sup> Department of Physiology / Pharmacology, Faculty of Science, University of Lomé (UL), BP 1515 Lomé, Togo.

<sup>5</sup> Sciences Department of Earth, Faculty of Sciences and Techniques, University of Abomey Calavi (UAC), 01BP 526 Cotonou, Benin.

<sup>6</sup> Laboratoire Pierre Pagny: Climate, Water, Ecosystems and Development (LACEEDE), 03 BP 1122 Cotonou, Benin.

\* Author for correspondence: ELEGBEDE Bernadin. Tel: 00 (229) 97 27 55 15, E-mail: Elegbedebern@yahoo.fr

### **Abstract**

This survey made an assessment of bioindicators witnesses of a chronic poisoning to the lead via the consumption of the drink water whose contamination has been proven in the cotton zone of Kérou. Contents of the lead (Pb) measured out in samples of water of forages and out in blood plasma by atomic absorption spectrophotometer have been compared

To check the health impact of water pollution by pesticides and toxic metals, the present study conducted the collection of blood and urine of 39 residents following the ethical rules.

After laboratory analysis, the calculation of the ADI (Acceptable Daily Admin) showed high doses of toxic substances especially the lead in the plasma. Results show a lead level blood interrelationship in water for forages 3, 5 and 7. The other forages where the interrelationship was not precise suppose an outside origin exhibition to the water of drink or a likely absence of poisoning. The blood lead limit has been passed in zones of the F12S forages, F16S and F18S. Signs of a poisoning to the lead are not marked very at the level of the biochemical parameters but at the level of symptoms of the saturnism observable within the population of them investigated.

These results were confirmed by checking the poisoning of the body of consumers around the measurement of bio-indicators such as urea, creatinin, transaminase, total cholesterol and urinary calcium of 39 individuals. Following the same logic test results of bio indicators were assessed through field surveys which have shown that individuals have taken most of the symptoms of lead poisoning.

Overall, although data from some of this work may have methodological limitations, the measured values are sufficiently problematic by the amplitude and frequency of exceedances of standards for a risk assessment of exposure to follow soon measures are taken to prevent health threats related to chemical contamination of drinking water in this population.

**Keywords:** Cotton culture, boreholes water, blood lead, saturnism

### **4.1.6.1 Introduction**

Studies have highlighted the vulnerability of water boreholes with manual pump type UPM or VERGNET particularly the toxic metal pollution in the cotton zone of Kérou (Elégbédé, 2007), especially by lead. Air emissions of lead are mainly anthropogenic (Casas, 2005). Many authors have shown an increase by a factor of 20 in relation to human activities over the last two centuries

(Murozumi et al. 1969; Boutron and Patterson, 1983). The main sources are still currently burning automotive fuels in urban areas and the use of fungicides in rural areas (DeLuise et al. 1996; Bourrelie and Berthelin, 1998). This study aims to evaluate bio-indicators, evidence of exposure to lead through consumption of drinking water in the town of Kérou for some reason. Indeed, the clinical manifestations of lead are associated with blood lead levels. However, blood lead level that can get free from clinical signs is

related to the ADI that is achieved with a blood lead level of 20 mg / L in children, an ADI (Acceptable Daily Admin) of 3.6 mg / kg (WHO, 1986). Indeed, the human consumption of water contaminated with lead can cause a blood concentration of 10 mg / dL, may cause inhibition of enzymes responsible for heme synthesis. This inhibition is complete for 90 mg / dL. (Landrigan and Tod, 1997). On the other hand lead slows the transfer of iron necessary for the development of heme from 15 mg / dL in children and 25-30 g / dL in adults. It follows an attack of the digestive tract, blood (anemia), kidney and nervous system (Beauchamp, 2003) which are the symptoms of lead poisoning. Lead taken will be routed through the blood until the bones and soft tissues, where lead will accumulate if absorption exceeds digestive and urinary elimination. By binding to red blood cells, hemoglobin lead abyss and slows production. This explains the saturnine anemia. Part of the lead is stored on the bone to compete with calcium. The lead act on the nervous system by destroying neurons. The removal of lead is through the feces, urine, saliva, hair, nails and sweat. The acute toxicity of lead is rare. It shows a massive exposure. It appears as a metallic taste in the mouth, abdominal pain with vomiting and diarrhea (lead colic) signs which can be caused by unwanted absorption of alcohol will promote the widespread distribution of lead. May also occur in convulsions, acute renal failure or a fatal coma. There are two types of markers of lead poisoning: the impregnation tests in practice dominated by measurement of blood lead levels, testing of toxic action: urinary ALA and ZPP based on serum creatinine, urinary calcium and liver enzymes. The reference values of blood lead levels for those not exposed are: 80 µg / L for men and 63 mcg / L for women. Limit value not to exceed is 400 mcg / L in men and 300 µg / L in women. A rate higher than 15 micrograms / g creatinine indicates exposure becomes important concern beyond 20µ/L

**Table XVII: Result of blood lead proportion and lead levels water**

**4.1.6.2 Material and methods**

Frame work and area study

The Municipality of Kérou is limited to North - West by the Municipality of Tanguiéta with which it shares Pendjari Park and the North-East by the Municipality of Banikoara's largest producer of cotton at the national level. In the south, it shares borders with the cotton belt of Péhounco, and Kouandé Sinendé. It is divided into four Districts, namely: Brignamaro, Kérou Centre, and and Kaobagou Firou.

The climate of the region is governed by the Northern Sudanese regime characterized by two distinct seasons: a dry October to April and rainy from May to September.

**Sampling and analysis**

In this section of work, 39 people including the distribution covers 18 wells whose waters were surveyed. 25 blood samples are collected and analyzed are considered appropriate. People were surveyed on the basis of form attached to this document. As many samples of blood were made in the conditions of health standards and ethics. The various information on factors likely to identify lead exposure was obtained by interview and blood samples for blood lead levels were maintained in laboratory conditions. Lead was analyzed in plasma and not whole blood in the laboratory of the University of Lomé by the atomic absorption spectrophotometer according to the protocols Anane et al. (1995) and Vaidya and Rantala (1996). The data were represented by blots spots in Excel.

The results are shown in Table XVII below

Boreholes	VILLAGES	Locality	Pb Water (mg/L)	Pb Blood (mg/L)
F1	FIROU	Firou market	-	-0,0401C
F2		Camp peul - EPP	-	-0,2962C
F3		Farm manager	0,0394	-0,7316C
F4		Marékpo	-	-0,9045C
F5		Ganboré	0,0167	0,0087
F6	KEROU	Gantodo school	0,0079	-
F7		Toundagou	0,0613	0,0080
F8		Center	-	-
F9		Boni	-	-
F10		Konigourou Center	0,098	0,0080
F11	BRIGANM ARO	Kossou-North	-	0,045
F12		Kossou-South	-	0,0340
F13		Hospital	0,0048	-0,0279C
F14		Ouinra-Center	-	0,0192
F15		Bérékossou	-	-0,0206C
F16		Banbaba	-	0,0286
F17		Wodora	-	0,0153
F18		Boukaro	-	0,0707
F19		Mekrou-river	0,0604	-
standards			0,04	0,002

NB. Dashes (-) means that content is null or is not determined. Values followed by the letter C are to be corrected because of detection limit of the spectrophotometer which is too high to measure very low values. The study has considered them as null contents. (-)

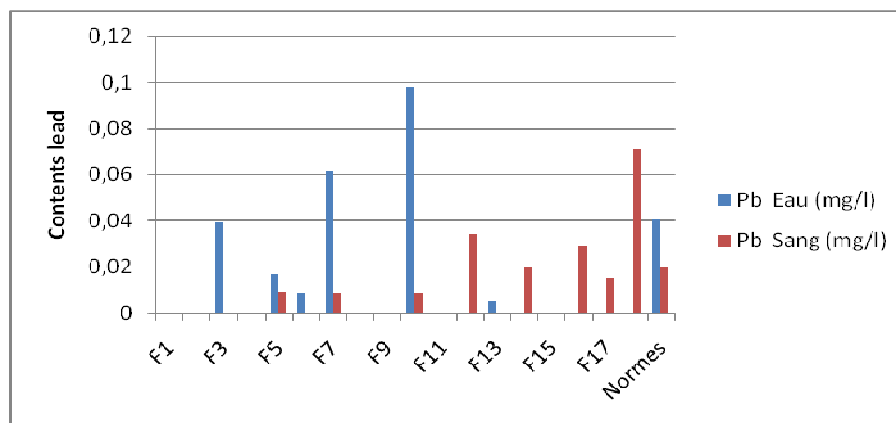


Figure 22: Correlation between blood lead levels and lead in water

Correlation between blood lead levels and lead in water is shown in figure 22 below  
Keep in mind; Eau= water; Sang= blood; Normes = standards

**Table XVII: Result of biological indicators of lead toxicity**

N°	Age	Weight	Observation	UREM	CREA	TRANSA TGP	CHOL TOTAL	CA URINARY	Blood lead (µg/L)
VN			Signs of lead poisoning: weaken, abdominal pains, constipation, delay of growth are evocative clinical signs of an intoxication lead, disturb digestive vaguenesses: anorexia, vomiting, behavioral problem: apathy or irritability, hyperactivity, disorders of the attention and the sleep, bad psychomotor development: reduction in the cognitive performances.	0,15 to 0,45 g/L	6 to 14 mg/L	inf. with 49 UI/L	inf. with 2 g/L	150 to 250 mg/L	0,020
1	50	63	Losses of appetite, heartburn, bilharzias	0,19	13,2	12,3	1,72	46,2	0 ,045
2	20	57	Excessive perspiration at rest, headaches	0,16	12,2	19,2	1,32	29,4	0,0340
3	28	50	Excessive perspiration at rests, turbid digestive, sterility, renal disease, bleeding	0,30	15,8	21,2	1,42	99,2	-
4	24	57	A loss of appetite, constipation, excessive perspiration at rests; turbid digestive weakens anorexia, tiredness, tremor, giddiness, temporary loss of vision. Smoke much.	0,26	16,1	19,8	1,25	51,1	0,0192
5	45	66	Losses of appetite, constipation, headaches, nightmare, disturb digestive, tiredness, nervousness. His two wives have made stillborn in 2009						-
6	50	70	Losses of appetite, heartburn, headaches, renal insufficiency, problem of bone, tiredness, giddiness, involuntary loss of weight, sudden death of infants. Smoke much.						00,0286
9	18	35	Weaken, digestive disorders, loses of appetite, constipation, anorexia						0,0153
10	44	65	Losses of appetite, headaches, renal insufficiency, Smokes.						
11	45	53	Losses of appetite, headaches, renal insufficiency, abdominal pains, constipation, nightmare, excessive tiredness, anorexia						
12	11	15	Nothing	0,42	12,0	30,2	2,39	26,2	
13	35	60	Losses of appetite, temporary headaches, Tremor, losses of vision, anorexia renal insufficiency. Gave birth to three times still-born children,	0,27	13,2	25,4	1,79	-	0,0707

14	28	54	Losses of appetite, constipation, problem of skin, insomnia, migraine, tremor of all the body. Do not smoke but chews.	0,23	10,0	20,2	2,48	21,4	
15	53	56	Losses of appetite, constipation, stops dries, digestive disorders, deafness, nervousness. Smoke much.	0,27	3,4	12,0	3,12	54,2	
16	45	60	Losses of appetite, constipation, stops dries, headaches, Fume	0,18	10,4	13,4	3,71	90,1	
17	40	54	Weaken, cold, constipation, excessive perspiration at rest, hyperactivity, insomnia. Smoke much	0,24	10,0	12,0	3,02	59,5	
18	35	48	Weaken, lost of appetite, loss of coordination, stops dries, cold, disturb digestive, hyperactivity, insomnia.	0,20	10,0	27,0	3,21	29,4	
19	22	56	Losses of appetite, colds, stops dries, cold, disturb digestive, constipation.	0,27	12,2	29,8	1,86	28,4	
20	35	53	Losses of appetite, colds, stops dries, cold, excessive perspiration at rest, renal insufficiency, hyperactivity, Trembling of the feet, nervousness, three times still-born children for the same woman, chews	0,30	13,6	22,7	1,34	30,0	
21	26	45	Losses of appetite, colds, headaches, abdominal pains, tiredness.	0,26	12,3	24,2	1,43	36,2	141
22	20	65	Losses of appetite, excessive perspiration at rest, heartburn, chew much	0,21	11,8	10,0	1,56	99,2	
23	22	70	Losses of appetite, stops dries, constipation, excessive perspiration at rests, turbid digestive, abdominal pains, frequent loss of memory, hyperactivity, nervousness, Fume much	0,31	11,7	28,4	1,02	51,8	0,0087
24	30	65	Anorexia, nauseas, nightmare, Losses of appetite, stop dries, constipation, and excessive perspiration at rests, turbid digestive, abdominal pains, frequent loss of memory, hyperactivity, insomnia, nervousness, tremor of all the body. Two sudden deaths children, chews much.	0,27	14,0	30,0	1,00	26,2	0,0080
25	41	68	Losses of appetite, colds, stops dries, heartburn, excessive perspiration at rests, turbid digestive, abdominal pains, frequent loss of memory, insomnia, nervousness, problem of menstruation, sterility, renal insufficiency once made deaths born	0,20	10,4	36,2	1,89	92,2	0,0080
26	50	54	Losses of appetite, headaches, disturb digestive, eye trouble,	0,16	11,2	16,0	1,46	51,4	-



			giddiness; Pose tremor the tobacco on the language.							
27	30	47	Losses of appetite, headaches, nauseas, giddiness, tremor, three sudden times dead of infants, one miscarriage.	0,17	13,2	12,0	1,47	26,3	-	
28	37	68	Losses of appetite, stops dries, excessive perspiration at rest, colds, headaches, heartburn, one dead - born. Smoke much	0,19	13,2	49,0	1,24	91,7	-	
29	35	68	Losses of appetite, disturb digestive, abdominal pains, headaches,	0,16	13,8	34,3	0,98	56,2	-	
30	27	50	Losses of appetite, colds, stops dries, heartburn, renal insufficiency, headaches, migraine. Smokes.	0,17	14,4	15,7	1,09	31,1	-	
31	25	48	Losses of appetite, colds, stops dries, heartburn, renal insufficiency, headaches, migraine, gum pain, nervousness. Miscarriage only once.	0,24	11,0	17,8	1,72	31,1	-	
32	28	60	Losses of appetite, colds, stops dries, disorder digestive, nauseas, giddiness.	0,22	7,6	22,3	0,99	91,1	-	
33	25	44	Losses of appetite, colds, stops dries, heartburn, disturb digestive, renal insufficiency, nauseas, giddiness,	0,13	9,6	12,6	0,89	56,2	-	
34	20	45	Losses of appetite, colds, nervousness, hyperactivity, giddiness, itching of skin, tires and tremor	0,37	12,2	12,3	1,02	31,1	-	
35	43	53	Losses of appetite, colds, stops dries, constipation, excessive perspiration, hyperactivity.	0,22	13,9	40,2	1,26	76,2	-	
36	20	43	Losses of appetite, colds, stops dries, nervousness, dental decays, gum pain, constipation, hyperactivity. Sterility suspected, since 7 years married without child.	0,30	12,0	22,1	1,34	81,1	-	
37	45	43	Losses of appetite, colds, two children dead	0,20	13,2	12,3	1,11	93,1	-	
			Losses of appetite, colds, nauseas with much of vomiting, dental decays, gum pain, sees with only one eye, hears with only one ear, he has 36 children among them one dead of inhalation of pesticide, another one fell into the Mékrou river. Chew						-	
38	74	64	Losses of appetite, colds, itching of skin, loss of memory, headaches, chronic renal insufficiency, hyperactivity, gum pain, tremor	0,22	12,2	16,4	1,09	66,2		
39	56	59	Losses of appetite, colds, itching of skin, loss of memory, headaches, chronic renal insufficiency, hyperactivity, gum pain, tremor	0,28	12,0	48,0	1,04	55,1		

#### 4.1.6.3 Discussion

Lead poisoning is defined by the observation of a blood lead higher or equal to 100 micrograms per liter. The taking into account of this disease is made difficult because it is about affection with not very specific symptoms. It can thus easily pass unperceived. Only the proportioning of lead in blood can prove it. The results showed that there was lead in the blood of the surveyed people and this in connection with certain bio- indicators factors of toxicity. This identification crossed the data of investigations into recorded pathologies specific to metals and the level of contamination of the organism of the surveyed person. The level of contamination of the body by heavy metals and the pesticides is known by the identification through talks, proportioning, of parameters bio indicators of toxicity. The average blood lead is of 0,024 mg/L e.g 24 µg/L. However the blood lead threshold which makes it possible to take cover from clinical signs is related to the DJA which is reached with a blood lead of 20 µg/L, that is to say a DAD (Daily allowed dose) of 3,5 µg/kg (WHO, 1986). Indeed, human being consumption of contaminated food by lead which can cause a blood concentration of 10 µg/dL, can involve the inhibition of the enzymes responsible for the synthesis of heme. This inhibition is complete for 90µg/dL. (Landrigan and Tod, 1997). It is considered that the blood lead increases starting from contributions by 5µg/kg/day. The threshold of toxicity is defined like a lead concentration in total blood higher than 60 µg/dL. The effects of lead were then considered in a simple way: or the individual showed clinical signs of poisoning or he was well. Then, the conviction came that lead could reduce the intelligence and deteriorate behavior with blood lead lower than 60 µg/dL, i.e. with insufficient levels to produce obvious symptoms. Thus was born the concept of subclinical poisoning with the lead, based on

comprehension owing to the fact that lead produces a spectrum of toxicity in which clinical symptoms like encephalopathy, the renal insufficiency and anemia had their subclinical counterparts in a reduced intelligence, a faded operation of the renal tubules and high protoporphyrin rates. The observation of our results shows that there are signs of toxicity according to information's provided by the people surveyed in comparison with the table above. All the known signs of lead poisoning were listed: weaken, abdominal pains, constipation, disturb digestive, anorexia, vomiting, behavioral problem, apathy or irritability, hyperactivity, disorders of the attention and the sleep, bad psychomotor development, reduction in the cognitive performances. In the Kérou commune, the recurring signs after the investigations were the digestive anorexia and disorders (lack of appetite, constipation) which are mostly the signs of the intoxication of lead without counting the nervous disorders. But one notices the catch of tobacco in the surveyed population. This can influence the effects of lead considerably. In addition, the biochemical analyses of the blood of surveyed concerning urea, creatinin, transaminase, total cholesterol and urinary calcium shows variability compared to the values of reference. The urea and creatinin are waste of the metabolism which informs about the purifying function of the kidney, principal target of heavy metals and the pesticides. Any nephrotoxic substance (tubular damage) even in the short run is likely to modify the blood concentrations of this two waste in the direction of an increase (they are reabsorbed in the injured tubules and return in the blood, in which increase). The results showed that the found contents were in the normal fork at knowing 0,15 to 0,45 g/L for urea. Only one case has a creatinemy exceeding the standard (14,4 mg/L against 14 mg/L) but for this individual, proportioning was not precise, the found value were negative, perhaps because of the technical defects. Concerning

transaminase, the value guides (49 g/L) is not exceeded; it is the same with urinary calcium. Calcium just like iron are in competition with heavy metals (Pb, Cd, Hg): any excessive presence of these traces elements in the urines (or the saddles) is a proof of the action of metals which would thus have occupied the place of these elements on the sites of the enzymes which will be thus inactive. Fortunately this situation is not yet observed but on the other hand for total cholesterol, several cases of going beyond of the limit (2 g/L) were recorded. The origin of this lead is food origin, primarily the drink water like that was demonstrated the precedent results on the water proportioning of drillings. Water can be contaminated by passage through lead drains. Enrichment is variable according to the degree of acidity and aggressiveness of water. Our results had shown that the content of lead in the water of drilling in the commune of Kérou exceeded standard WHO (0, 04 mg/L) because the recorded content was of 0,07965 mg/L and of 0,0604 mg/L in the Mékrou river. The new European standard fixes the maximum content lead in water at 10 µg/L, and the states have until 2013 being put in conformity. Water is however, not the only source of exposure of the organism to lead. Also lead is found in the air, grounds, food and dust; the individual contributions vary according to the environment and from the age (Kremp and Barbier, 2001). The food can be contaminated by water and various containers (ceramics, pottery, tins, crystals, leads of hunting). WHO has fixed an amount tolerable day laborer to 3.5 µg/kg. However, even if it is by the blood lead that we could highlight intoxication at lead in the commune of Kérou, the blood lead is used to evaluate a recent exposure but, it is only one poor indicator among the preceding exposures since lead quickly is excreted or stored in the bones. The lead content of the teeth has the advantage of reflecting a cumulative exposure to lead, however that does not make it possible to determine the age or the

diagram of exposure, which can be critical factors of lead toxicity. The researchers must then be based on information obtained from the parents. The multiple measurements spaced in time get more valid information; this approach became besides the standard in the exploratory studies.

#### 4.1.6.4. Conclusion

This work aimed to evaluate the risks of exposure to toxic metals and pesticides in the cotton zone of Kérou-Kouandé-Péhounco. It was a question of making the physicochemical and toxicological characterization of the water of the wells and drillings of the Commune of Kérou and evaluating the medical risks of exposure to toxic metals and the pesticides via the consumption of this water by the population. The physicochemical characterization of water of well and drillings of the zone of study made it possible to release the behavior of certain descriptive parameters of the physicochemical quality of water. A comparison of the contents of the principal elements measured in subsoil waters of this zone for various sites of sampling indicates a difference in concentration between the wells and drillings. This difference is characterized by high values in water of the wells than protected drillings. However the investigations wanting to go further on this level of protection made it possible to highlight the vulnerability of water of drillings pollution by toxic metals and the residues of pesticides, coming primarily from the culture of cotton and the domestic activities. The evaluation of exposure risks of related to the consumption of contaminated water by toxic metals and the pesticides took support on the example of lead according to the standardized step. The results showed that there was risk of accumulation of lead in the organism in comparison with the DED and calculated QD. To have a clear idea on this assumption, sampling of blood is made on exposed population and analyzed on lead

contents, with the search for certain indicating biochemical parameters of toxicity. It appeared that the assumption of intoxication was not to reject being given the disorders listed within the surveyed sample, disturb identifiable with lead poisoning, characteristic disease of intoxication by lead. Moreover the blood of surveyed contained lead beyond the threshold of toxicity. Furthermore biochemical parameters, even if they are not all out-limits, were enough alarming to attest of a probable intoxication by lead in the commune of Kérou. What was done for lead could have been made for the

cadmium or other residues of pesticides for which contents exceeded the standards. In all the ways, at the point where are the results, they are sufficiently worrying so that a monitoring of the water pollution of well and drillings is initiated with series of sensitizing for the medical safety of the drink water, essential to the wellbeing of the population of Kérou in particular and that of Benin in general.

#### 4.1.6.5 Bibliography

- Anane R., Bonini M., Grafeille M.J., Creppy E.E., 1995, Bioaccumulation of water soluble aluminium chloride in the hippocampus after transdermal uptake in mice, *Arch. Toxicol.*, No. 69, 568-571.
- Beauchamp J, 2003.- *La Pollution Littorale. DESS: Qualité et Gestion de l'eau*, Univ. Picardie Jules Verne (France), 30p.
- Bourrelrier P. H., Berthelin J., 1998, "Contamination des sols par les éléments en traces: Les risques et leur gestion". *Académie des Sciences - Techniques et documentation*, Paris. 440p.
- Boutron C. F. et Patterson C C, 1983.- "The occurrence of lead in Antarctic recent snow firms deposited over the last two centuries and prehistoric ice." *Geochim. Cosmochim. Acta.* 47: 1355- 1368.
- Casas S., 2005, "Modélisation de la bioaccumulation de métaux Traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule, *mytilus Galloprovincialis*, en milieu méditerranéen". Thèse de doctorat. 363 p.
- Deluisa A., Giandon P., Aichner M., Bortolami P., Bruna L., Lupetti A., Nardelli F., Stringari G., 1996, "Copper pollution in italian vineyard soils", *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* No. 27, 1537-1548.
- Elégbédé MB. 2007. *Pollution de l'eau des puits et de la nappe phreatique par les pratiques humaines et son impact sur la sante des populations dans la commune de kerou, premier producteur du coton dans les departements de l'atacora/donga.* DEA, p.111.
- Landrigan P.J. Todd A.C, 1997. Lead poisoning. *West J Med*, 161(2): 153-159.
- Murozumi N, Chow T J, Patterson C C, 1969. Chemical concentrations of pollutant lead aerosols, terrestrial dusts and sea salts in Greenland and Antarctic snow strata, *Geochim. Cosmochim. Alta*, 33: 1247-1294.
- OMS/FAO. Joint FAO/WHO, 1986. expert comittee on food additives. Sixty-first meeting. Summary and conclusions. 19-6.
- Philip PODEVIN, 2010 "Intoxication au plomb en milieu professionnel saturnisme professionnel" :7-15
- Vaidya C.O., Rantala T.T.R., 1996, "A comparative study of analytical methods determination of heavy metal in mussels (*Mytilis edulis*) from eastern Canada", *Int. Environ. Anal. Chemistry*, 63 (3) : 179-185.

## 4.2. Vérification des hypothèses

Avant la vérification des hypothèses de recherche, des tests statistiques ont été effectués sur deux mesures de teneurs en plomb des eaux analysées.

Les p-value étant toutes égales à 0,46321, donc supérieures à 5 %. Alors,  $H_0$  est accepté selon laquelle la série suit une loi normale. Chacune des 2 séries est donc distribuée suivant une loi normale.

Le test de Student révèle une différence significative entre les taux moyens de plomb des 2 mesures au seuil de 5 % ( $p < 0,001$ ). Plus précisément, le taux de plomb moyen issu de la 1<sup>ère</sup> mesure est significativement inférieur à celui de la 2<sup>ème</sup> mesure ( $p < 0,001$ ). La quantité de plomb a donc significativement augmenté à la 2<sup>ème</sup> mesure.

Les p-value sont toutes égales à 0,00006, donc inférieures à 5 %. Alors, on accepte l'hypothèse alternative selon laquelle la série ne suit pas une loi normale. Chacune des 2 séries n'est donc pas distribuée suivant une loi normale.

Le test de rang de Wilcoxon révèle une différence significative entre les taux moyens de plomb des 2 mesures au seuil de 5 % ( $p = 0,0008$ ). La valeur moyenne de la mesure 1 est de - 0,1316 et celle de la mesure 2 de - 0,1306. On pourrait donc dire à partir du test, que les taux ont augmenté à la mesure 2. Cette variation de la teneur du plomb est illustrée par la figure 23.

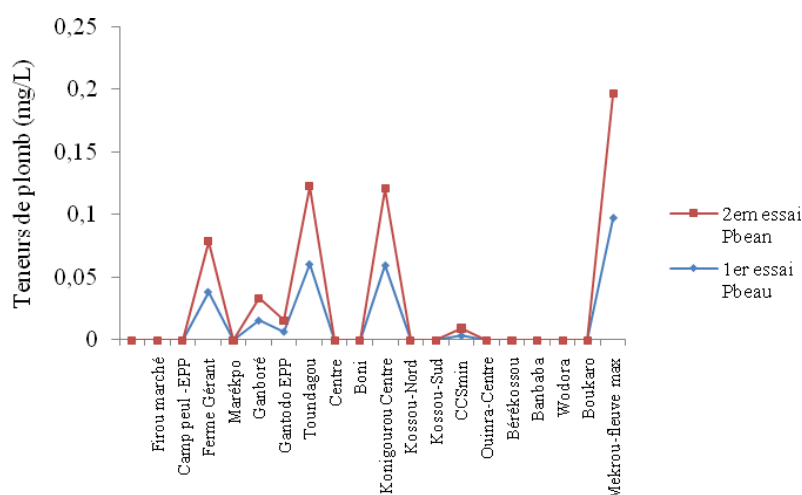


Figure 23 : Evolution de la teneur de plomb dans les forages à Kérou

Source : ELEGBEDE, 2011

Il ressort de l'examen de la figure que dans les localités où les puits sont proches des champs de coton, le niveau de plomb est supérieur à la normale.

Quant aux pesticides, il sera calculé l'écart type qui est un indicateur par excellence de la variance et qui permet de mieux cerner la dispersion autour de la moyenne.

Si la variable  $X$  prend un nombre fini de valeurs réelles  $x_1, \dots, x_n$ , avec des fréquences

respectives  $p_1, \dots, p_n$ , l'écart type est donné par  $\sigma_x := \sqrt{\sum_{i=1}^n p_i (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{(\sum_{i=1}^n p_i x_i^2) - \bar{x}^2}$ ,

où  $\bar{x}$  désigne la moyenne  $\sum_{i=1}^n p_i x_i$ . En particulier, si la loi de  $X$  est uniforme sur un ensemble

fini de valeurs, c'est-à-dire si  $p_i = \frac{1}{n}, i=1, \dots, n$ , alors

$\sigma_x := \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i^2) - \bar{x}^2}$ , où cette fois,  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ . Ces formules se

généralisent immédiatement en dimension supérieure en remplaçant l'élévation au carré par la norme euclidienne au carré.

MOY	0,00477027	0,00447297	0,00463514	0,00445946	0,00455405
ECART TYPE	0,00250778	0,00260254	0,00266162	0,00263376	0,00263871
Pesticide	F10	F16	F1	F14	F19

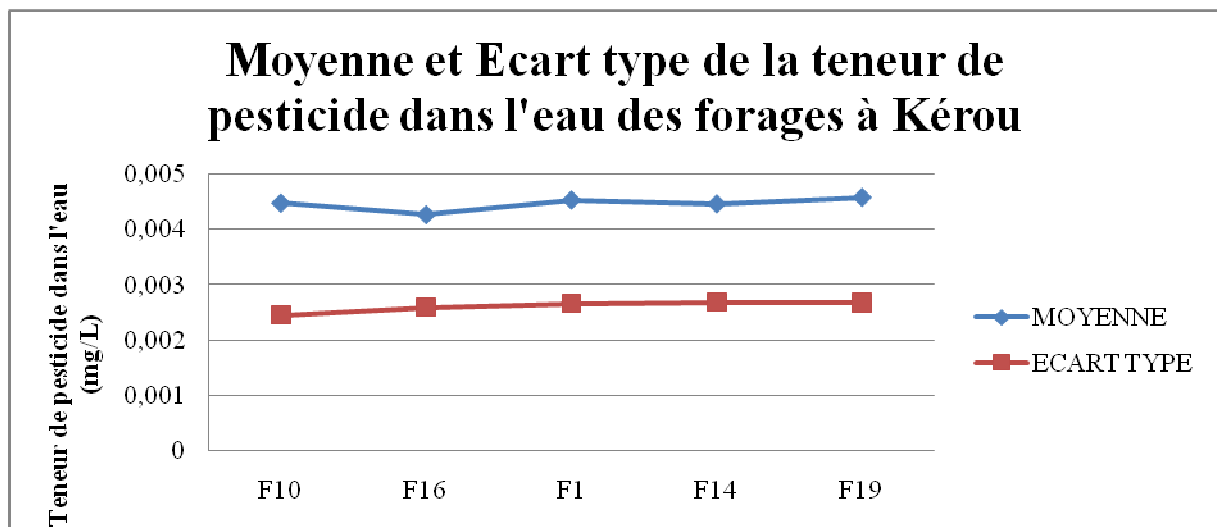


Figure : **Moyenne et Ecart type de la teneur de pesticide dans l'eau des forages à Kérou**  
Source : ELEGBEDE, (2011)

Le prélèvement de l'eau est fait sur un échantillonnage de cinq forages à raison de d'un essais par saison. Au total 76 molécules de pesticides comme variables d'analyse ont été dénombrés, soit  $76 \times 2 \times 5 = 760$  données à traiter. Le taux moyen de pesticide total et l'écart type dans l'eau de chaque forage ont été calculés et comparés à la norme européenne (1998)

de 0,0001 mg/L. Aucune des valeurs ainsi trouvée n'est en dessous de la norme union européenne. En effet le minimum trouvé est 0,00455405 mg/L au F19 et le maximum obtenu est de 0,00477027 mg/L pour F10. La dispersion autour de la moyenne oscille entre  $\pm 0,002$ . En conclusion les eaux des forages ainsi étudiées sont très polluées par les produits phytosanitaires, ce qui confirme effectivement la deuxième hypothèse.

Sur la base des objectifs fixés pour ce travail, et au regard des résultats obtenus dans les publications, il est permis de déduire que les hypothèses sont confirmées.

Les différents tests statistiques ci-dessus, montrent que la pollution de l'eau de boisson dans la commune cotonnière de Kérou a pour origine les mauvais comportements anthropiques. La fertilisation des sols, technique utilisant des engrais chimiques, des pesticides et autres intrants peu connus ainsi que la mauvaise gestion des ordures sont pointées du doigt. Du coup, la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux des puits, de forages et de surface sont détériorées. Conséquemment, l'hypothèse selon laquelle «*Les populations de la Commune de Kérou située dans le bassin du Niger consomment des eaux de qualité douteuse*» est vérifiée ; à travers les résultats des publications 1 et 2.

D'un autre côté, des analyses effectuées par spectrophotomètre d'absorption atomique (SAA) à flamme, il apparaît que le plomb, le nickel et le fer sont fortement représentés. En d'autres termes, sept sur dix-huit forages sont contaminés par les métaux lourds. Toutefois, les teneurs les plus élevées, dépassant les normes, sont celles du plomb, observées dans les forages de Gaboré et Korigourou (respectivement 0,0613 et 0,098 mg/L contre 0,04 mg/L) proches des champs de coton.

En outre, 76 molécules de pesticides ont été identifiées dans la commune cotonnière. La teneur de ces molécules (1  $\mu\text{g/L}$  au moins pour la plupart) dépasse les normes. Il peut être cité entre autre l'aldrine (7  $\mu\text{g/L} \pm 0,7 \mu\text{g/L}$ ), du dieldrine (2  $\mu\text{g/L} \pm 0,7 \mu\text{g/L}$ ), du phorate (7  $\mu\text{g/L} \pm 2 \mu\text{g/L}$ ).

Fort des résultats des publications 3 et 4, il est permis de confirmer l'hypothèse selon laquelle «*Les produits phytosanitaires utilisés dans l'agriculture et le comportement des populations constituent des sources potentielles de pollution dans le bassin du Niger*»

Les publications 5 et 6 mettent en exergue les risques inhérents à la consommation de l'eau de boisson polluée, notamment par le plomb dans la commune cotonnière de Kérou. Il ressort de cet examen que les DJE pour le plomb à travers la consommation de cette eau de boisson dans

la commune donne une valeur de 12,54 µg/kg pour les enfants et 3,85 µg/kg/j pour les adultes comparées à la norme de l'OMS qui est de 3,5 µg/kg/j.

Au demeurant, cette contamination constitue des risques pour la santé des populations, en particulier celle des enfants.

En vertu de ces résultats, l'hypothèse selon laquelle « *La consommation de l'eau de boissons dans le bassin du Niger induit des pathologies hydriques* » est plausible.

Au terme des différents travaux de terrain et de l'examen des résultats issus des diverses analyses, les conclusions partielles suivantes se dégagent.

- Les forages à proximité des champs de coton et de la rivière Mékrou sont les plus touchés par la pollution due aux intrants agricoles ;
- Les personnes vivant dans ces zones sont les plus exposées et souvent les plus contaminées à la plombémie.

Ces différents résultats montrent qu'il existe une influence de l'eau de surface sur l'eau souterraine. Ces résultats prouvent également le danger que constitue l'utilisation incontrôlée des intrants agricoles dans l'environnement.



## CONCLUSION

Ce travail a pour objectif principal de ressortir les effets néfastes des contraintes liées à l'agriculture sur la santé à travers la consommation de l'eau de boisson. Pour cela après une analyse physico-chimique et bactériologique de l'eau, une évaluation des risques d'exposition aux bactéries, aux métaux toxiques et aux pesticides dans la zone cotonnière de Kérou a été faite. Une comparaison des teneurs des principaux éléments mesurés dans les eaux souterraines des différents sites d'échantillonnage, indique une forte pollution azotée et bactériologique au niveau des puits par rapport aux forages qui paraissent plus protégés. Cette élévation varie suivant les périodes de prélèvement.

-Cependant, les investigations voulant aller plus loin sur ce niveau de protection ont permis de mettre en évidence la vulnérabilité des eaux des forages à la pollution par les métaux toxiques et les résidus de pesticides, provenant essentiellement de la culture du coton et des activités domestiques. Il a été constaté que les forages se situant dans les champs de coton ou qui y sont proches sont les plus contaminés. En conséquence, la plombémie est plus marquée au sein des usagers proches de ces points d'eau que par rapport à ceux qui y sont éloignés.

L'évaluation des risques d'exposition liés à la consommation de l'eau contaminée par les métaux toxiques et les pesticides a pris appui sur l'exemple du plomb selon une démarche standardisée.

-Les résultats ont montré qu'il y a effectivement risque de bioaccumulation du plomb dans l'organisme au regard des valeurs DJE et QD qui dépassent largement le seuil surtout pour les enfants qui sont plus exposés que les adultes.

Au regard des résultats ci-dessus, on peut affirmer que les bactéries et les microbes se retrouvent facilement dans les puits que dans les forages qui sont plus profonds et qui paraissent plus protégés. Cela peut expliquer le problème d'autoépuration par infiltration qui dépend de la structure du sol traversé et de la profondeur de l'ouvrage.

Par contre, les métaux lourds et les résidus de pesticides ont échappé à cette auto épuration, cela est certainement dû au fait que la plupart d'entre eux ne sont pas biodégradables et se retrouvent dans la nappe profonde après un long moment. Il est nécessaire de noter que les forages se situant dans l'enceinte des champs et ceux à proximité du fleuve sont les plus exposés à ces contamination.

De tout ce qui précède, il est permis de dire, à l'issue des résultats des différents travaux effectués dans la zone cotonnière de Kérou dans le cadre de cette thèse, que l'eau des puits modernes et celle des forages issue respectivement de la nappe phréatique et de la nappe profonde ne sont pas forcément de bonne qualité. Cette inquiétude peut conduire à soupçonner une pollution progressive et probable du bassin hydrographique qui abrite les nappes précitées.

En effet, depuis les analyses physico-chimiques, bactériologiques, toxicologiques et à travers l'évaluation des risques d'exposition aux xénobiotiques et la recherche des bio-marqueurs indicateurs de toxicité, les travaux ont révélé la dégradation de la qualité de l'eau de certains puits et forages devenue impropre à la consommation.

Les facteurs qui expliquent la pollution de l'eau constatée dans la zone de Kérou sont multiples et sont liés certes à la nature des sols, à l'accumulation des ordures ménagères, au manque d'assainissement aux abords des points d'eau, mais ces facteurs sont surtout dus à l'agriculture qui se pratique à proximité de ces puits et forages. C'est d'ailleurs ce qui explique la forte teneur de contaminants dans les forages situés près des champs de coton ou à proximité du fleuve Mékrou vers lequel tout converge après l'épandage. Par conséquent, la dégradation de la qualité de l'eau par les intrants utilisés dans la culture du coton est certaine. Cette pollution peut être due à l'insuffisance d'encadreurs agricoles, aggravée par le niveau d'analphabétisme très élevé (plus de 80%) dans ces zones essentiellement rurales. Ce qui pose la problématique de respect des normes de sécurité pour ces produits chimiques.

En tout état de cause, au point où en sont les travaux, les résultats sont suffisamment inquiétants pour qu'une surveillance de la pollution des eaux de puits et de forages soit initiée avec des séries d'Information Education pour un changement de Comportement(IEC) afin de garantir la sécurité sanitaire de l'eau de boisson, indispensable au bien-être de la population béninoise en général et celle de Kérou en particulier.

En somme, face à l'ampleur et à la gravité du problème de la pollution de l'eau, une prise de conscience s'avère indispensable. Les autorités en charge de l'eau, les spécialistes dans le domaine de l'agriculture, les décideurs de tout ordre doivent abandonner la guerre d'intérêt et déployer effectivement un effort concerté pour préserver la potabilité de l'eau en amont et en aval. C'est à ce prix et à ce prix seulement que dans un contexte de GIRE, on pourra préserver le bassin hydrographique du Niger de la pollution pour le bien être de tous les écosystèmes qui y vivent.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABE/MEHU** (1998): Normes et standards environnementaux: principales sources de pollution de l'air et de l'eau au Bénin, Volume 1, 72 p.
- ABIOLA F.A.** (1999) : La réglementation commune sur l'homologation des pesticides dans les Etats membres du CILSS : exemple de la mise en commun des ressources humaines. Sahel IPM, 14 : 9-10.
- ABIOLA F.A.** (2000) : L'endosulfan revient en grande quantité et sans respect des procédures d'homologation. Sahel IPM, 15, 24 p.
- ABLAIN F.** (2002) : Rôle des activités lombriciennes sur la redistribution des éléments traces métalliques issus de boue de station d'épuration dans un sol agricole. Thèse de doctorat. Université de Rennes 1 UMR ECOBIO. Paris. 256 p.
- ABROUS N., AUBIN H.J., ROUX E., BERLIN I., JUNIEN C., KAMINSKI M., LE FOLL B., LE HOUEZEC J., LE NOVERE N., LEFEVRE P., STINUS L., TASSIN J-P., De BEAUREPAIRE R., CARTON S., KARSENTY S., NOËL Y., NEHLIG A., MOLIMARD R.** (2003) : Exposition au tabagisme chez les adolescents. Expertise Collective INSERM. Les Editions INSERM, ISBN 2 85598-745-8, Chap. 12, 473 p.
- ADAM S.K. et BOKO M.** (1993): Le Bénin, Paris, Edicef, 96 p.
- ADAM S.I., EDORH A.P., TOTIN V.S.H., KOUMOLOU L., AMOUSSOU E., AKLIKOKOU K., BOKO M.** (2009): Pesticides et métaux lourds dans l'eau de boisson, les sols et les sédiments de la ceinture cotonnière de gogounou, kandi et banikoara (Bénin). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 3(5) : 1141-1150.
- ADAM V., ZEHNALÉK J., PETRLOVA J., POTESIL D., SURES B., TRNKOVA L., JELEN F., VITECEK J., KIZEK R.** (2005): Phytochelatine Modified Electrode Surface as a Sensitive Heavy-Metal Ion Biosensor, MDPI , ISSN 1424-8220, *Sensors*, 5 : 70-84.
- AFSSA** (2003) : Le méthylmercure. Programme "mortalité et morbidité des maladies d'origine alimentaire" -Volet toxicologique- Contaminants chimiques et risque alimentaire en France, document de travail. 78 p.
- AGBANDJI L.** (2009) : Fondements sanitaires et environnementaux des effets de la drogue douce en vue de l'amélioration du régime juridique de lutte au Bénin : Cas des métaux du tabac sur le fœtus, DEA Option Gestion de l'Environnement, EDP-FLASH, UAC, 123 p.

- AGBOSSOU K. E. et OKOUNDE J.** (2001) : Réalisation des études hydrologiques et d'aménagement de la Réserve de Biosphère du Complexe de la Pendjari. Tome 2. PCGPN/CENAGREF/GTZ. Cotonou. Bénin 41 p.
- AÏSSI M. J.** (1992) : Impacts des déchets domestiques sur la qualité de la nappe phréatique à Cotonou. Mémoire de fin de formation DETS, CPU, UNS, 69 p.
- AKUFFO S.B.** (1998): Pollution control in a Developing Economy 2<sup>nd</sup> edition pp. 77-106
- ALLOWAY B.J.** (1995): Heavy metals in soils. 2<sup>nd</sup> edition, Blackie academic & professional, Glasgow. 368 p.
- ALVA A.K., HUANG B., PARAMASIVAM S.** (2000): Soil pH affects copper fractionation and phytotoxicity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64 : 955-962.
- ANANE R., BONINI M., GRAFEILLE M.J., CREPPY E.E.** (1995) : Bioaccumulation of water soluble aluminium chloride in the hippocampus after transdermal uptake in mice. *Arch. Toxicol.*, 69 : 568-571.
- ANTTILA A., PUKKALA E., SALLMÉN M., HERNBERG S., HEMMINKI K.** (1995): Cancer incidence among Finnish workers exposed to halogenated hydrocarbons. *J Occup Environ Med.* 37(7): 797-806.
- ASKERGREN A. et MELLGREN M.** (1975): Changes in the nasal mucosa after exposure to coppersalt dust. A preliminary report. *Scand J Work Environ Health*, 1 (1) : 45-49.
- ASSANI A.** (1995) : Qualité et mode de gestion de l'eau de boisson dans la sous-préfecture de Grand-Popo. Mémoire de maîtrise en santé publique, IRSP, UNE, 129 p + annexes.
- ASSITEB.** (1997) : Les dangers de l'eau et leur prévention, fascicule technique, 72 p.
- ASSOUMA I.D.** (2004) : Contribution à l'évaluation des risques liés aux usages domestiques de l'eau dans la commune de Kandi. Mémoire de DESS, IMSP, 69 p.
- ASTA J., GOMBERT S., BENOIT-GUYOT J-L., SEIGLE-MURANDI F., STEIMAN R., LAFOND M.** (1996): Evaluation des nuisances et impacts liés à l'incinération d'ordures ménagères et assimilés: GRIDEC-Ademe. 141p.
- ATSDR** (1999): Toxicological profiles for cadmium h. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, GA: U.S department of Health and Human Services, Public Health Services. [En ligne] Adresse URL : <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp5.html>, consulté le 1<sup>er</sup> juin 2000 à 15:03.
- ATSDR** (2005): "Toxicological Profiles for lead". Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, GA: U.S department of Health and Human Services, Public Health

Services. [En ligne] Adresse URL : <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp13.html>, consulté le 1<sup>er</sup> juillet 2005 à 11:50.

- AZAR A., SNEE R.D., HABIDI K.** (1973): Relationship of community levels of air lead and indices of lead absorption. *Environmental Health Aspects of Lead, Proceedings of an International Symposium*. Amsterdam, The Netherlands, October 1972, 32 p.
- AZEHOON P. E. et BOKO M.** (2006) : Organochlorine and organophosphorous pesticide residues in the Ouémé River in the Ouémé river catchment in the Republic of Benin, In *Environnement International*, 32: 616-622.
- BABADJIDE C.L.** (2011) : Influences de la pollution hydrique sur la santé humaine dans le bassin du Mono au Bénin, Thèse pour l'obtention du diplôme de Doctorat Unique de l'Université d'Abomey-Calavi, EDP, FLASH, UAC, 314 p.
- BABA MOUSSA A.** (1994) : Etude de la pollution bactériologique de la nappe phréatique à partir d'une latrines en Afrique subéquatoriale. Thèse de doctorat ès sciences techniques. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne EPFL, 252 p.
- BAFFES J.** (2005): Cotton Market setting, trade policies and issues. World Bank Policy Research Working Paper, 80 p.
- BARCELOUX D. G.** (1999): Copper. *J. Clin. Toxicol*, 37(2) : 217-230.
- BAYSSON H., BILLON S., CATELINOIS O., GAMBARD J-P., LAURIER D., ROGEL A., TIMARCHE M.** (2004) : "Radon et cancer du poumon." *Environnement Risque Santé*, 368-374.
- BEAUCHAMP J.** (2003) : La Pollution Littorale. DESS: Qualité et Gestion de l'eau, Université de Picardie Jules Verne (France), 30 p.
- BENAABIDATE L.** (2000) : Caractérisation hydrologique du bassin versant de Sebou : hydrogéologie, qualité des eaux et géochimie des eaux thermales. Thèse de Doctorat Es-Science, F.S.T., Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès, 250 p.
- BENEDETTI J-L., TURCOTTE F., DEWAILLY E., SAMUEL O., GINGRAS S., LEFEBVRE M.** (1992) : Estimation de l'imprégnation biologique de la population québécoise par le cadmium, *Bulletin d'information en santé environnementale*, 3 (6) : 1-12.
- BENNETT M., SCHATZ M.F., ROCKWOOD H., WIESENFELD K.** (2002): Huygens's clocks. *Proceedings of the Royal Society A*, 458 (2019) : 563-579.
- BIAOU C., ALONSO S., TRUCHOT D., ABIOLA F. A., PETIT C.** (2003) : Contamination des cultures vivrières adjacentes et du sol lors d'une pulvérisation

- d'insecticides sur des champs de coton: cas du triazophos et de l'endosulfan dans le Borgou, Bénin, Rapport d'étude, MAEP, 112 p.
- BIO BIGOU L.B.** (1989) : La vallée bénino-nigérienne du fleuve Niger : Population et développement économique. Thèse de Doctorat (Nouveau régime), 2 volumes. Université de Bourgogne, Dijon, 917 p
- BIRGHILA S., DOBRINAS S.** (2005): Environmental Engineering and Management Journal. N° 4 (2), pp 219-222.
- BLAGUE-BELAR A., De FOSSEY B.M., FAURESTIER M.** (1991) : Dictionnaire des constantes biologiques et physiques en médecine, Application clinique pratique, 6<sup>ème</sup> édition, Maloine, Paris, 845 p.
- BLANDIN P.** (1986) : Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques. *Bull.Ecol.*17(4) : 215-307.
- BLOUNDI M.K.** (2005) : Etude géochimique de la lagune de Nador (Maroc oriental): Impacts des facteurs anthropiques. Thèse de Doctorat. Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre Centre de Géochimie de la Surface (UMR 7517) et Université Mohamed V- Agdal Faculté des Sciences de Rabat, 210 p.
- BOIVIN A., AMELLAL S., SCHIAVON M., VAN GENUCHTEN M.TH.** (2005): 2, 4-Dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) sorption and degradation dynamics in three agricultural soils. *Environ. Pollut.* 138, pp. 92-99.
- BOKO M.** (2005) : Pollution de l'Environnement et santé Publique, Centre des Publications Universitaires (CPU) DL n°2819, 160 p.
- BOLNOT F-H., JEAN C Q., FRANÇOIS B.** (2004) : Sécurité sanitaire des aliments : Parlons-en !, 13 p.
- BOUDOU A., GEORGESCAULD D., DESMAZES J-P.** (1983): Ecotoxicological role of the membrane barriers in transport and bioaccumulation of mercury compounds. *Aquatic Toxicology*. J. O. Nriagu. New York, *J. Wileyland Sons*, 118-136.
- BOUKARI M.** (1995) : Identification des aquifères de la zone littorale du Bénin Afrique de l'ouest : Hydrodynamique Hydrochimie et problèmes d'alimentation en eau de la ville de Cotonou. In *Africa Geosciences Review*, 2(1), 121-139.
- BOUKARI M.** (1998) : Fonctionnement du système aquifère exploité pour l'approvisionnement en eau de la ville de Cotonou sur le littoral béninois: Impact du développement urbain sur la qualité des ressources. Thèse d'état es sciences, UCAD de Dakar et Université National du Bénin, 277 p + annexes.

- BOURRELIER P. H. et BERTHELIN J.** (1998) : Contamination des sols par les éléments en traces : Les risques et leur gestion. Académie des Sciences - Techniques et documentation, Paris, 440 p.
- BOUTRON C. F. et PATTERSON C.C.** (1983): "The occurrence of lead in Antarctic recent snow firms deposited over the last two centuries and prehistoric ice." *Geochim. Cosmochim. Acta.* 47 : 1355-1368.
- BREUIL L.** (2004) : Renouveler le partenariat public-privé pour les services de l'eau dans les pays en développement, Thèse de doctorat, Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et Forêts (ENGREF), Paris, 321 p.
- BRÜMMER G.W., GERTH J., HERMS U.** (1986): Heavy metal species, mobility and availability in soils. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk*, **149** : 382-398.
- BUTTERFIELD C.T.** (1999) : L'élévation de la température et la qualité de l'eau dans le milieu tropical. *Public Health Rep.*, 58: 18-37.
- BUTTERFIELD C.T., WATTIE E., MEGREGIAN S., CHAMBERS C.W.** (1943): Influence of pH and temperature on the survival of coliforms and enteric pathogens when exposed to free chlorine. *Public Health Rep.*, 58: 18-37.
- CADET J., BERGER M., DOUKI T., RAVANAT J-L.** (1997): Oxidative damage to DNA : formation, measurement and biological significance. *Rev Physiol Biochem Pharmacol*, 131: 1-87.
- CAI Y., AOSHIMA K., KATOH T., TERANISHI H., KASUYA M.** (2001): Renal tubular dysfunction in male inhabitants of a cadmium-polluted area in *Toyama Japanan eleven-year follow-up study.* *J. Epidemiol.*, 11: 180-189.
- CALDAS T.** (1994): Sustainable Agriculture and Rural Developpement: Sustainable Cotton Production Systems (West Africa-Senegal). Report n°1: Agroecological and Socioeconomic Assessment, Initial Recommendations; 21 p.
- CAMOBRECO V.J., RICHARDS B.K., STEENHUIS T.S., PEVERLY J.H., MCBRIDE M.B.** (1996): Movement of heavy metals through undisturbed and homogenized soil columns. *Soil Science*, 161: 740-750.
- CAMPBELL J. K. et MILLS C.F.** (1979): Toxicity of zinc to pregnant sheep. *Environ. Res.* 20: 1.
- CARAGLIA M., BENINATI S., GIUBERTI G., D'ALESSANDRO A.M., LENTINI A., ABBRUZZESE A., BOVE G., LANDOLFI F., ROSSI F., LAMPA E.,**



- CONSTANTINO M.** (2005): *Experimental and Molecular Medicine*, n° 37(5): 476-481.
- CASAS S.** (2005) : Modélisation de la bioaccumulation de métaux Traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule, *Mytilus galloprovincialis*, en milieu méditerranéen. Thèse de doctorat, Université du Sud Toulou VAR, 363 p.
- CE** (2001) : Règlement CE/466/2001 (2001) : Fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires. Union Européenne, 13 p.
- CHAMBERLAIN A.C., CLOUGH W.S., HEARD M.J., NEWTON D., STOTT A.N., WELLS A.C.** (1975), Uptake of lead by inhalation of motor exhaust, *Proc R Soc Lond Biol Sci*, 192 (1106): 77-110.
- CHANDRA R.K.** (1984) : Excessive intake of zinc impairs immune responses. *J. Am. Med. Assoc.* 252: 1443-1450.
- CHAPMAN P.M., PAINE M.D., ARTHUR A.D., TAYLOR L.A.** (1996): A triad study of sediment quality associated with a major, relatively untreated marine sewage discharge *Mar. Pollut. Bull.*, 32 : 47-64.
- CHIPPAUX J-P., HOUSSIER S., GROS P., BOUVIER C., BRISSAUD F.** (2002) : Etude de la pollution de l'eau souterraine de la ville de Niamey, Niger. *Bull. Soc Pathol Exot*, 94 (2) : 119-123.
- CHUZEVILLE B. et PLOMB D.** (1992) : Traitement d'un forage fortement pollué dans la région de Koudougou au Burkina-Faso, *Bulletin de liaison du CIEH*, 90 : 27- 35.
- CISSE I. A. A., TANDIA S.T., FALL E.L.H., DIOP S.** (2003) : Usage incontrôlé des pesticides en agriculture périurbaine : cas de la zone des Niayes au Sénégal. *Cahiers Agricultures*. 12 : 181-186.
- COATS J. R.** (1991) : Pesticide Degradation Mechanisms and Environmental Activation. In *Pesticide Transformation Products. Fate and Significance in the Environment*, 11-30.
- COMLANVI F.M.** (1994) : Amélioration de la qualité des eaux de puits dans la ville de Cotonou : Cas de quelques quartiers. Mémoire de fin de formation DIT, Aménagement, protection de l'environnement, CPU, UNB, 78 p.
- CNRS** (2012) : Eau potable : La toxicité de certains polluants chimiques, *Sagasciences*, [en ligne], <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/potable/toxicChim.html>, consulté le 15 avril 2012 à 10 :51.

- DANIDA** (2002) : Ministère des affaires étrangères du Danemark. Rapport technique - Suivi de la qualité de l'eau (composante « Appui à la gestion des ressources en eau en République du Bénin »), 68 p.
- DELUISA A., GIANDON P., AICHNER M., BORTOLAMI P., BRUNA L., LUPETTI A., NARDELLI F., STRINGARI G.** (1996) : Copper pollution in italian vineyard soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal*, 27 : 1537-1548.
- DEVEZ A.** (2004) : Caractérisation des risques induits par les activités agricoles sur les écosystèmes aquatiques. Thèse de Doctorat, ENGREF, Montpellier, France, 269 p.
- DGH** (2005) : Stratégie nationale de l'approvisionnement en eau potable en milieu rural du Bénin 2005-2015. Document de travail, MMEH, 20 p.
- DH** (2002) : *Vision Eau 2025 - Bénin*. MMEH, 4 p.
- DI BENEDETTO M., ANFOSSI S., BILLIARD E., BONNET M., HENRIOT F., KRAEMER F., LECHENNE L., LE HERISSIER M., LORIN S.** (1997) : Méthodes spectrométriques d'analyse et de caractérisation. Les métaux lourds. Axe "Génie des Procédés", Centre SPIN, Ecole des Mines de Saint-Etienne. Dossier SAM, 49 p.
- DIREN** (2003) : État des lieux des pesticides dans les eaux de la région Rhône-Alpes. Campagne de septembre 2001 à décembre 2002. Eaux et milieux aquatiques. Dossier Diren, nov. 2003, 29 p. Disponible sur <http://www.environnement.gouv.fr/rhonealpes/> consulté le 20 mai 2007 à 19:52.
- DOSSA A.** (2002) : Analyse et Esquisse cartographique de la contamination bactériologique de la nappe phréatique alimentant les puits traditionnels de la ville de Cotonou et sa banlieue. Mémoire de DESS, FAST, DAC, 81 p.
- DOVONOU F.E.** (2009) : Pollution des plans d'eau du Sud Bénin et risques écotoxicologiques : Cas du lac Nokoué. Mémoire de DEA en Environnement, Santé et développement, CIFRED, UAC, 68 p.
- DUBOIS J.C.** (1992) : L'eau et les maladies nerveuses. Edition : *Expansion scientifique française*, Paris, 375: 16-17.
- ECOBICHON D.J.** (2001): Pesticide use in developing countries. *Toxicology*, 160: 27-33.
- ECOTOX-ALSACE GROUP** (2012): Absorption, Distribution, Métabolisme et Elimination,[en ligne], :<http://www.ecotox-alsace.com/absorption-metabolisme-distribution-et-elimination/>, consulté le 25 février 2012 à 13:05.
- EDORH A.P.** (2007): Heavy metals actions. *TWAS Newsletter*. 9 (2), 27 p.

- EDORH A. P., AGONKPAHOUN E., GNANDI K., GUEDENON P., KOUMOLOU L., AMOUSSOU C., BOKO M., GBEASSOR M., CREPPY E.** (2009): An assessment of the contamination of *Achatina achatina* by toxic metals in Okpara village (Benin). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 3(6): 1428-1436.
- EDORH A.P., GNANDI K., AYEDOUN M.A., AGONKPAHOUN E., KOUMOLOU L., AMOUSSOU C., BOKO M., GBEASSOR M., RIHN H.B., CREPPY E.E.** (2010) : Etude comparative de la bioaccumulation de métaux lourds dans les sédiments du lac Nokoué et de la rivière Okpara (Bénin) ; *Sciences et Médecine Rev. CAMES – A* (10).
- EHRICH M.** (1996): "Neurotoxic Esterase Inhibition: Predictor of Potential for Organophosphorus-Induced Delayed Neuropathy. In : Blancato JN, Brown RN, Dary CC, and Saleh MA - Biomarkers for Agrochemicals and Toxic Substances" American chemical society. Washington, DC, 79-93.
- ELEGBEDE M.B.** (2007) : Pollution de l'eau des puits et de la nappe phréatique par les pratiques humaines et son impact sur la santé des populations dans la commune de Kérou, premier producteur du coton dans les départements de l'atocora/donga. DEA en Gestion de l'Environnement, FLASH/UAC, Abomey-Calavi, 111 p.
- ETTAJANI H.** (1994) : Transfert des éléments traces essentiels ou toxiques dans la chaîne trophique marine à mollusque. Thèse, Université de Tours, France, 199 p.
- FERRON P., DEGUINE J.P., MOUTE J.E.M.** (2006) : Évolution de la protection phytosanitaire du cotonnier : un cas d'école. *Cah. Agric.* 15 (1) : 128-134.
- FEUILLADE G., LAGIER T., MATEJKA G.** (2001) : Les métaux lourds dans les décharges d'ordures ménagères, *La Tribune de l'eau*, 54 (611) : 17-24.
- FINELLI V.N., BOSCOLO P., SALIMEI E.** (1981): Anemia in men occupationally exposed to low levels of copper. Heavy metals in the environment. In *Heavy Met. Environ.* In Conf 4<sup>th</sup>, Eds, by the rat. *J Nutr*: 475-478.
- FONTAINE B.** (1985) : La variabilité des précipitations en domaine sahélien et ses connexions avec la circulation atmosphérique africaine atlantique. URA 909 CNRS. Université de Bourgogne, Dijon . *Cahier de Centre de Recherche de Climatologie*,: 11 : 85-91.
- FONTAINE B.** (1986) : Précipitations soudano-sahélienne et circulation estivale sur l'Afrique Occidentale et l'Afrique Nord, *Etudes de Climatologie Tropicale*, Masson, Paris, 12 : 63-78.

- FONTAINE B.** (1990a): Etudes comparées de la mousson indienne et ouest africaine. Caractéristique, variabilité et téléconnexion;. Université de Bourgogne, Dijon-France, Volumes 1 et 2 : 511 p.
- FONTAINE B.** (1990b): Etude comparée des moussons indienne et ouest africain. Caractéristiques, variabilité et téléconnexion. Thèse d'état de l'Université de Bourgogne, Dijon, 233 p + annexes.
- FÖRSTNER U. et WITTMANN G.T.W.** (1979): Metal pollution in the aquatic environment. Springer-Verlag. New-York. 475 p.
- FOUCHECOURT M.O. et RIVIERE J.L.** (1996): Activities of liver and lung cytochrom P450 dependant monooxygenases and antioxidant enzymes in laboratory and wild Norway rats exposed to reference and contaminated soils. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 30: 513-522.
- FOWLER S W.** (1982): Biological transfer and transport processes. Pollutant transfer and transport in the sea. G. Kullenberg, CRC press. *Boca Raton*, 2-65.
- FRIBERG L., NORDBERG, G.F., VOUK V.B.** (1979): Handbook on the toxicology of metals, Elsevier-North-Holland Biomedical Press, Amsterdam, 355-381.
- GALAF F. et GHANNAM S.** (2003) : Pollution du milieu marin. Institut Agronomique Vétérinaire Hassan II, Rabat (Ma), 115 p.
- GALDES A. et VALLÉE B.L.** (1983) : Categories of zinc metalloenzymes. *Metal Ions Biol. Syst.*, 15: 2.
- GARDELS M.C. et SORG T.J.** (1989): A laboratory study of the leaching of lead from water faucets, *Journal of the American Water Works Association*, 81(7): 101-113.
- GARREC J-P. et VAN HALUWYN C.** (2002): Biosurveillance végétale de la qualité de l'air. Editions *Tec&Doc*, Paris, 18 p.
- GERBA C.P. et HAAS C.N.** (1988): Assessment of risks associated with enteric viruses in contaminated drinking water. American Society for testing and materials, Technical publication 976, Philadelphia – USA, 18-33.
- GESAMP** (1982): Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution. *The Health of the Oceans. Rep. Stud.* GESAMP, 15, 108 p.
- GESAMP** (IMO/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution). (1988): Review of potentially harmful substances - Arsenic, mercury and selenium. *Rep.Stud. GESAMP*, (28): 172 p. et *UNEP Reg.Seas Rep.Stud.*, (92):172 p.

- GAUDREAU D. et MERCIER M.** (1998) : La contamination de l'eau des puits privés par les nitrates en milieu rural. Régie Régionale de la Santé et des Services Sociaux, Montérie, DSP, Canada, 49 p.
- GOLMOKA E.** (2006): The influence of tobacco smoking on the lead and cadmium concentration in the urine of pregnant women and the health state of newborn. *Przegl Lek*; 63(10): 985-92.
- GOMOT A.** (1997) : Effets des métaux lourds sur le développement des escargots. Utilisation des escargots comme bio-indicateurs de pollution par les métaux lourds pour la préservation de la santé de l'Homme. *Bull Acad Natl Med* 181(1) : 59-74.
- GUEDENON P.** (2009) : Pollution des écosystèmes par les métaux lourds (Cd, Pb, Cu) : Cas du fleuve Ouémé et du lac Nokoué. Mémoire de DEA, Option : Environnement Santé Développement, EDP, UAC, 95 p.
- HARRIS E.D.** (1991): Cooper transport: An overview. *Porc. Soc. Exp. Biol. Med.*: 130-140.
- HODONOU A.** (2010) : Les filières agricoles : écueils, leçons et perspectives, cas du palmier à huile et du coton, Etude et Document n° 009/2010, CAPOD, 28 p.
- HOUNKPATIN A.** (2010) : Pollution des écosystèmes aquatiques par les métaux toxiques (Pb et Cd) : cas de la cité lacustre de Ganvié. Mémoire de DESS Sciences de l'environnement et développement durable, CIFRED, UAC, 72 p.
- HUSSEIN K., PERRET C., HITIMANA L.** (2005) : Importance économique et sociale du coton en Afrique de l'Ouest : Rôle du coton dans le développement, le commerce et les moyens d'existence, Secrétariat du Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest/OCDE, 72 p.
- INERIS** (2005) : Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques : Cadmium et ses dérivés à l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques. <http://www.ineris.fr>, consulté le 10 décembre 2010 à 11 :11
- INPES.** (2002) : Campagne de prévention du tabagisme, Dossier de presse, [en ligne], [www.inpes.santé.fr](http://www.inpes.santé.fr), consulté le 13/07/2011, pp.1-3.
- INRA-Agritox.** (2002): Base de données sur les substances actives phytopharmaceutiques. Mise à jour le 14/10/2002. <http://www.inra.agritox>, consulté le 23 novembre 2010 à 20:10.
- INSAE** (2002) : Troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitation (RGPH<sub>3</sub>), Direction des Etudes Démographiques, 490 p.

- JAGER-MISCHKE I.** (1993) : Danger de l'emploi des pesticides pour l'Homme et la nature ; In pesticides et agriculture Tropicale, Dangers et alternatives, CEPAPE, Univ de Ouaga, 23-64.
- JANICOT S.** (1985) : Analyse spatio-temporelle du champ de précipitations annuelles sur l'Afrique Occidentale et l'Afrique Centrale. *Veille climatique Satellitaire.*, 10 : 32-44.
- JANICOT S.,** (1988) : Facteurs naturels impliqués dans la sécheresse au Sahel. *Climat et Climatologie.* Volume d'hommage offert au Professeur Pierre PAGNEY. Université de Bourgogne. Centre de Recherche de Climatologie, 269-280.
- JANICOT S.** (1989) : Variabilité des précipitations en Afrique de l'Ouest et circulations quasi-stationnaires durant une phase de transition climatique. Thèse de Doctorat. Université de Paris VI, 600 p.
- JANICOT S.** (1990a) : Deux facteurs impliqués dans la sécheresse au Sahel. In *Veille climatique satellitaire*, 32 : 24-33.
- JANICOT S.** (1990b) : Variabilité des précipitations en Afrique de l'Ouest et circulation quasi stationnaire durant une phase de transition climatique. Thèse de doctorat de l'Université de paris VI, 178 p+annexes.
- JANSEN S., BLUST R., VANLEEUEWEN H.P.** (2002): Metal speciation dynamics and bioavailability. *Changing metal cycles and human health.* Berlin, Springer : 27-34.
- KELOME N.C., LEVEQUE J., ANDREUX F., OYEDE L.M.** (2007) : Etude des contaminations inorganiques dans les sols de surface de la ville de Cotonou (Sud-Benin), in : Premier Colloque de l'UAC des Sciences, Cultures et Technologies du 25 au 29 juin 2007, au Campus d'Abomey-Calavi, Programme des communications, République du Bénin, BOA, ORTB, 192-193.
- KLEVAY L.M.** (1980): Interactions of copper and zinc in cardiovascular disease. *Am. N. Y. Acad. Sci.*, 355 : 140-150.
- KOUMOLOU L.** (2009) : Bioaccumulation comparée de quelques produits maraîchers de Campignons comestibles de Cotonou et de Aplahoué, FDS, Université de Lomé, Togo, 52 p.
- KPERA A.** (2006) : Pollution marine par le plomb, l'aluminium et le cadmium : étude comparative entre le Bénin et le Togo. Thèse de doctorat d'Etat en Pharmacie. UAC/FSS/UFRP, Cotonou (Bénin), 88 p.

- LAGADIC L., CAQUET T., AMIARD J.C.** (1997) : Biomarqueurs en écotoxicologie: principes et définitions. *In*: Masson, editor. Lagadic L., Caquet T., Amiard J.C. & Ramade F. Biomarqueurs en écotoxicologie. Aspects fondamentaux. Paris; p.1-9.
- LANDRIGAN P.J.T et ODD A.C.** (1997): Lead poisoning. *West J Med*, 161(2): 153-159.
- LANPHEAR B.P., HORNUNG R., KHOURY J., YOLTON K., BAGHURST P.** (2005): Low level Environmental Lead Exposure and Children Intellectual function : An international pooled analysis. *Environ Health Perspect* 113 (7) :894-899.
- LATGE C. et SAHUT C.** (2003) : De la moutarde et du tabac pour dépolluer les sols. ATOUT Cadarache, CEA, n°1, 8 p.
- LE BARBE L., ALE G., MILLET B., TEXIER H., BOREL Y., GUALDE R.** (1993) : Les ressources en eaux superficielles de la République du Bénin. Edition ORSTOM, 540 p.
- LEBOURG A., STERCKEMAN T., CIESIELSKI H., PROIX N.** (1996) : Intérêt de différents réactifs d'extraction chimique pour l'évaluation de la biodisponibilité des métaux en traces du sol. *Agronomie*, 16 : 201-215.
- LEHNER F.** (2006) : Maladies liées aux métaux lourds. Intoxiquée au mercure, j'ai intoxiqué mes trois enfants, Edition à la carte, Suisse, 212 p.
- LEJEUNE C.** (2008) : Effets des produits psycho-actifs sur le fœtus et le nouveau-né et place des traitements de substitution. Réseau Périnatal de Santé, Saint Briec, 47 p.
- LE STRAT A.** (2007) : L'accès à l'eau, un enjeu essentiel, in Liaison, IEPF, 77 : 49-53.
- LEVALLOIS P. et PHANEUF D.** (1992) : Risques associés à la contamination de l'eau potable par les nitrates. *Bulletin d'information en santé environnementale*, 3 (3) : 1-3.
- LOGHMAN-ADHAM M.** (1997): Renal effects of environmental and occupational lead exposure. *Environ Health Perspect*. 1997 Sep; 105(9) : 928-939.
- LOKO F.** (2001) : Biochimie analytique-physiopathologie-explorations fonctionnelles, manuel à l'usage des étudiants des techniques de biologie humaine, Edition CPU, 214 p.
- LUOMA S.N.** (1983): Bioavailability of trace metals to aquatic organisms - a review. *Sci. Total. Environ.* 28: 1-22.
- MAGOS L.** (1991): Epidemiological and experimental aspects of metal carcinogenesis: physicochemical properties, kinetics, and the active species. *Environ Health Perspect*; 95: 157-189.
- MAHAFFEY K.R.** (1995): Nutrition and lead: strategies for public health. *Environ Health Perspect*. 1995 September; 103 (6): 191-196.

- MASON A.Z. et JENKINS K.D.** (1995): Metal detoxication in aquatic organisms. In Metal speciation and bioavailability in aquatic systems. Eds Tessier A., Turner DR., *Wiley & Sons, Chichester*, 3: 469-608.
- MCDONALD C., HOQUE R., HUDA N., CHERRY N.** (2007) : Risque de lésions cutanées liées à l'arsenic dans des villages du Bangladesh relativement peu exposés à ce métal : rapport de l'organisation Gonoshasthaya Kendra, Bulletin de l'Organisation mondiale de la Santé, *OMS*, (85) : 649-732.
- MDR/REPUBLIQUE DU BENIN** (1993): Arrêté N° 186 MDR/DC/CC/CP du 22 avril 1993 relatif aux conditions de délivrance et d'emploi en agriculture de produits phytopharmaceutiques. Journal officiel de la République du Bénin, 23 p.
- MEDIX** (2003) : Manifestations osseuses et articulaires des intoxications métalliques et métalloïdiques, [en ligne], <http://www.medix.free.fr/cours/intoxications-metalliques-metalloidiques.php>, consulté le 27 décembre 2011.
- MIQUEL G.** (2001) : Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Rapport d'information N° 261 fait au nom de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques Sénat : Assemblée Nationale, Paris (France). 365 p.
- MIQUEL G.** (2003) : La qualité de l'eau et l'assainissement en France, Rapport de l'OPECST, n° 215, 151 p.
- MMEH** (1995) : Atelier sur le développement des systèmes de surveillance en matière d'eau et assainissement, Cotonou, 35 p.
- MORON V.** (1992) : Variabilité spatio-temporelle des précipitations en Afrique sahélienne et guinéenne (1933-1990). *La Météorologie* VII e série, Paris : 24-30.
- MORON V.** (1993) : Variabilité des précipitations en Afrique tropicale au nord de l'Equateur (1933-1990) et relation avec les températures de surface océaniques et de la dynamique de l'atmosphère. Thèse de doctorat, Centre de Recherche de Climatologie, université de Bourgogne, Dijon, tome 1, 225 p.
- MOUKOLO N.** (1993) : Les contrôles systématiques de la qualité des eaux naturelles au Congo: Quelques résultats du laboratoire d'hydraulique de LORSTOM/DGRST de Brazzaville. Bulletin de liaison de CIEH, 90 :1, 21 p.
- MSSS** (2002) : Principes directeurs d'évaluation du risque toxicologique pour la santé humaine de nature environnementale. Ed. Bibliothèque nationale du Québec, 87 p.



- MUNTNER P., VUPPUTURI S., CORESH J., BATUMAN V.** (2003): Blood lead and chronic kidney disease in the general United States population: Results from NHANES III. *Kidney Int* 63, 1044-1050.
- NDONG J.B.** (1999) : Analyse de la variabilité des précipitations dans la zone cotonnière du Sénégal de 1951 à 1998 : détermination de périodes de semis. Publications de l'Association Internationale de Climatologie, 12 : 124-131.
- NEBIE R.C., YAMEOGO T.R., SIE SIB F.** (2002) : Résidus de pesticides dans quelques produits alimentaires de grande consommation au Burkina Faso ; Bulletin d'information de la SOACHIM 4 : 68-78.
- NEFF J M.** (2002): Bioaccumulation in Marine Organisms: Effect of contaminants from oil well produced water, Elsevier Science Publishers, Amsterdam: 30-35.
- OMS** (2004): Guidelines for drinking water quality, third edition, 75 p.
- OMS** (2003): Assessing Microbial Safety of Drinking Water. Improving approaches and methods. Ed. IWA Publishing, Alliance House, 291 p.
- OMS** (1990) : Impact de la décennie Internationale de l'Eau Potable et de l'Assainissement sur les maladies diarrhéiques. Genève, 17 p.
- OMS/UNICEF** (2000) : Rapport sur l'évaluation de la situation mondiale de l'approvisionnement en eau et l'assainissement, 80 p.
- OMS-IPCS** (1998): World Health Organisation; International Programme on Chemical Safety. Environmental health criteria; n° 200: Cooper.
- OROU GUIDOU G.** (1998): La campagne cotonnière 97/98 au Bénin. Symposium sur l'utilisation des intrants en culture cotonnière et maraîchère, Dakar, 49-52.
- OSLER G.H.R., WESTHORPE D., OLIVER I.** (2001): The short-term effects of endosulfan discharges on eucalypt floodplain soil microarthropods. *Applied Soil Ecology*, 16: 263-273.
- OTTOW J.C.C.** (1985): "Boden in Gefahr". In Bild der Wissenschaft, Heft 3: 38-61.
- PAN AFRICA.** (1999) : Réglementation des pesticides dangereux au Bénin. *Monitoring and briefing*, 1, 24 p.
- PAN/CTA** (1993) : Pesticides et agriculture tropicale. Dangers et alternatives. Margraf, Ede, Pays-Bas et Hamburg, RFA, 281 p.
- PAPP. J.P.** (1968): Metal fume fever. Postgrad. Med. US National Committee for Geochemistry, 43-160.

- PATRICK L.** (2006): Lead toxicity part II: the role of free radical damage and the use of antioxidants in the pathology and treatment of lead toxicity. *Altern. Med. Rev* 11 : 114-127.
- PDC** (2006) : Plan e Développement Communal, PRODECOM, Monographie de la commune de Kerou, Mission de Décentralisation, Document de travail. Bénin, 123 p.
- PEDEN M., OYEBITE K., OZANNE-SMITH J., HYDER A.A., BRANCHE C., RAHMAN F.A., RIVARA F.** (2009): Rapport mondial sur la prévention des traumatismes de l'enfant, World Health Organization, 250 p.
- PERRIN J-B.** (2007) : Les plans de surveillance et de contrôle dans l'analyse du risque alimentaire lié à aux métaux lourds en France. Thèse Vétérinaire de doctorat, Ecole Nationale de Vétérinaire de Lyon, Université Claude-Bernard de Lyon I, 148 p.
- PISCATOR M.** (1985): Dietary exposure to cadmium and health effects: impact of environmental changes. *Environ Health Perspect.* Nov; 63: 127-132.
- PITTEN F.A., MÜLLER G., KÖNIG P.** (1997): *Arsenakkumulation in Pflanzen.* Abschlußbericht AP 120/2. Greifswand, unveröffentlicht. 60 p.
- PLAISIER F.** (2008) : Canaux potassiques du muscle lisse vasculaire cérébral au cours du processus d'ischémie-reperfusion : cibles potentielles dans la plasticité cérébrale ? Thèse pour l'obtention du grade de Docteur de l'Université de Lille II, Spécialité: Neurosciences, 225 p.
- PRASAD A.S., BREWER G.J., SCHOOMAKER E.B., RABBANI P.** (1979): Hypocupremia induced by zinc therapy in adults. *J. Am. Med. Assoc.*, 240, 2166 p.
- PROTOS BENIN** (2009) : L'eau, l'assainissement, la vie et le développement humain durable. Protos Bénin/ PNE-Bénin/ SIE, Cotonou, 103 p.
- PROZIALECK W.C., EDWARDS J.R., NEBERT D.W., WOODS J.M., BARCHOWSKY A., ATCHISON W.D.** (2007): The Vascular System as a Target of Metal Toxicity. *Toxicol Sci.* 18 p.
- RABINOWITZ M.B., WETHERILL, G.W., KOPPLE, J.D.** (1976): Kinetic analysis of lead metabolism in healthy humans, *J Clin Invest*, 58(2): 260-270.
- RACZ, G.J., WEBBER M.D., SOPER R.J., HEDLIN R.A.** (1965): Phosphorus and nitrogen utilization by rape, flax and wheat. *Agron. J.* 57 : 335–337.
- RAMADE F.** (1992) : Précis d'écotoxicologie, Paris, Dunod, 302 p.
- RAMADE F.** (1993) : Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. Paris, Ediscience International, 822 p.

- RICARD S.** (2003) : Cadre de référence en gestion des risques pour la santé dans le réseau québécois de la santé publique, Institut national de santé publique du Québec, Rapport d'étude, Québec, 92 p.
- RICHARDS B.K., STEENHUIS T.S., PEVERLY J.H., MC BRIDE M.B.** (1998): Metal mobility at an old heavily loaded sludge application site. *Environ. Pollut.*, 99 : 365- 377.
- RIDLEY A.O. et HEDLIN R.A.** (1962): Effect of mineral fertilizers and manures on the phosphorus content of a clay soil and on crop yields and quality in a long-term crop rotation. *Can. J. Soil Sci.* 42: 137-149.
- RIVM** (1999): Environmental Risk Limits in the Netherlands. *National Institute of Public Health and the Environment*. Bilthoven, Nederland: 601-640.
- ROOSE E.** (1981) : Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux d'Afrique occidentale. Travaux et documents. Paris, ORSTOM, n° 130, 569 p.
- SATARUS S. et MOORE M.R.** (2004): Adverse Health Effects of Chronic Exposure to Low-Level Cadmium in Foodstuffs and Cigarette Smoke. *Environ Health Perspect*, 112(10): 1099-1103.
- SAVADOGO W.P.** (2006) : Streptomycetes. *Journal Africain des Sciences de l'Environnement*, (décembre 2006), 1 : 29-39, *Applied Microbiol. Biotechnol.* 64 (2004): 712-717.
- SCHEPERS G.W.H.** (1964): Tetraethyl and tetramethyl lead. *Arch Environ Health*, 8: 277-285.
- SCHOCK M. R.** (1990): Causes of temporal variability of lead in domestic plumbing systems, *Environmental Monitoring and Assessment*, 15: 59-82.
- SCRIP** (2007) : Stratégie de Croissance pour la Réduction de la Pauvreté, Version finale, Cotonou, 131 p.
- SENTHIL MURUGAN S., KARUPPASAMY R., POONGODI K., PUVANESWARI S.** (2008): Bioaccumulation Pattern of Zinc in Freshwater Fish *Channa punctatus* (Bloch.) After Chronic Exposure, *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 8: 55-59.
- SETTE L.D., DA COSTA L.A.M.A., MARSAIOLI A.J., MANFIO G.P.** (2006): Biodegradation of alachlor by soil pesticides au Burkina Faso, *J. soc. Ouest-Afr. Chim.* 21: 87-93.
- SIMKISS K. et TAYLOR M.G.** (1995): Transport of Metals across Membranes. In "Metal speciation and bioavailability in aquatic systems". A. Tessier et D. R. Turner, Wiley. 3: 2-39.

- SKOOG D.A., WEST D.M., HOLLER F.J.** (1991): Fundamentals of Analytical Chemistry. Seventh Edition, 13 p.
- SOCLO H.H., DJIBRIL R.B., ISSA Y.M.** (2005): International workshop on pesticides and other organic pollutants in Africa-monitoring and mitigation, Ouagadougou, Burkina Faso, 145 p.
- SOUZA (de) S.** (1988) : Noms des plantes dans les langues nationales béninoises. Cotonou (RP du Bénin), tome I et II, 393 + 417 p.
- STANCIU G., SAVA C., SURDU O., SECRIERU D., ARCUSI M., LUPSOR S.** (2006) : Détermination de la composition minérale et de la teneur en pesticides de la boue sapropelique de tekirghiol. *In Scientific Study and Research*. VII (3): 535-542.
- STEENLAND K., SELEVAN S., LANDRIGAN P.** (1992): The mortality of lead smelter workers: an update. *Am J. Public Health*. 82 (12): 1641-1644.
- STRICKLAND G.T., BECKNER W.M., LEU M.L.** (1972): Absorption of copper in homozygote and heterozygote for Wilson's diseases and controls: Isotope tracer studies with <sup>67</sup>Cu and <sup>64</sup>Cu. *Clin. Sci.*, 43(5) : 617-625.
- SULTAN B.** (2002) : Etude de la mise en place de la mousson en Afrique de l'ouest et de la variabilité intrasaisonnière de la convection. Application à la sensibilité des rendements agricoles. Thèse de doctorat, Université, Paris 7 – Denis Diderot, Paris, 283 p.
- SULTAN B. et JANICOT S.** (2004) : La variabilité climatique en Afrique de l'Ouest aux échelles intra-saisonnières. 1<sup>ère</sup> partie. Analyse diagnostique de la mise en place de la mousson et de la variabilité intra-saisonnière de la convection, *Sécheresse*, 15(4) : 1-10.
- TAPSOBA K. H., et BONZI-COULIBALY Y.** (2006) : Production cotonnière et pollution des eaux par les pesticides au Burkina Faso, *J. soc. Ouest-Afr. Chim.* 21: 87-93
- TELISMAN S., CVITKOVIC P., JURASOVIC J., PIZENT A., GAVELLA M., ROBIC B.** (2000): Semen quality and reproductive endocrine function in relation to biomarkers of lead, cadmium, zinc and copper in men. *Environ Health Perspect*, 108 (1): 45-53.
- TESTUD F.** (2005) : Pathologie toxique professionnelle et environnementale 3ème éd Eska Paris, 672 p.
- THORNTON I., BUTHER D., DOCX P., HESSION M., MAKROPOULOS C., MCMULLEN M., NIEUWENHUIJSEN M., PITMAN A., RAUTIN R., SAWYER R., SMITH S., WHITE D., WILDERER P., PARIS S., MARANI D., BRAGUGLIA C., PALERM J.** (2001) : Polluants in urban waste water and sewage sludge. *Final report for Directorate-General environment*. ISBN 92: 894-1735.

- TOE A.M., KINANE M.L., KONE S., SANFO-BOYARM E.** (2004): Le non respect des bonnes pratiques agricoles dans l'utilisation de l'endosulfan comme insecticides en culture cotonnière au Burkina Faso: quelques conséquences pour la santé humaine et l'environnement. *Revue Africaine de Santé et de Production Animales*, 2 : 275-278.
- TOMLIN C.D.S.** (Dir) (1997): The Pesticide Manual: a World Compendium, 11<sup>e</sup> éd., The British Crop Protection Council, Farnham, Surrey, UK, 1606.
- UME** (2009) : Métaux lourds de...conséquences, [en ligne], [http://www.labosp.com/Public/index.php?wkskey=151&no\\_doc=105](http://www.labosp.com/Public/index.php?wkskey=151&no_doc=105), consulté le 28/12/2011 à 19:55.
- US-EPA** (1992): Guidelines for exposure assessment." Washington DC (USA), 126 p.
- VAIDYA C.O. et RANTALA T.T.R.** (1996): A comparative study of analytical methods determination of heavy metal in mussels (*Mytilis edulis*) from eastern Canada. *Int. Environ. Anal. Chemistry*. 63 (3): 179-185.
- VAN HOOK R.I.** (1974): Cadmium, lead and zinc distributions between earthworms and soils: Potential for biological accumulation. *Bull Environ. Contamin.* 12 : 509-512.
- VENNETIER P.** (1988). "Urbanisation, production agricole et autosuffisance alimentaire: réflexions sur le cas africain", *Cahiers d'outre-mer*, 41 : 163.
- VERMEYLEN A.** (2006) : Cours de microbiologie. Facultés Universitaires Notre Dame de la Paix de Namur, Belgique, 220 p.
- VIALA A. et GRIMALDI F.** (2005) : Ecotoxicologie. In : Viala A. et Botta A. Eléments de toxicologie 2<sup>e</sup> éd Tec & Doc., Lavoisier Paris, 245-251.
- VIRARAGHAVAN T., SUBRAMANIAN K.S., VENKATA RAO B.** (1999): Impact of household plumbing fixtures on drinking water quality - a review, *Intern. J. Environ. Studies*, 56 : 717-743.
- VISSIN E.W.** (2007) : Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger. *Thèse de doctorat*, Université de Bourgogne, Dijon, 311 p.
- VISSIN E.W.** (2001) : Contribution à l'étude de la variabilité des précipitations et des écoulements dans le bassin béninois du fleuve Niger. *Mémoire de DEA* ; Université de Bourgogne, Dijon, 52 p.
- VISSIN E.W.** (1998) : Contribution à l'étude du fonctionnement hydrologique du bassin de la Sota. *Mémoire de maîtrise*, UNB, FLASH/DGAT, 80 p. + annexes.

- WAALKES M.P.et REHM S.** (1992): Carcinogenicity of oral cadmium in the male Wistar (WF/NCr) rat: effect of chronic dietary zinc deficiency. *Fundam Appl Toxicol*, 19, 4: 512-520.
- WATANABE T., SHIMADA T., ENDO A.** (1977): Mutagenic effects of cadmium on oocyte chromosomes of mice. *JPN J Hyg* 32: 472-81.
- WORLD WATER COUNCIL** (2005) : Les Objectifs du Millénaire pour le Développement OMD et la Cible 10 sur l'eau et l'assainissement, 74 p.
- XU J., LIAN L., WU C., WANG XF., FU WY., XU LH.** (2008): Lead induces oxidative stress DNA damage and alteration of p53 Bax and Bcl-2 expressions in mice. *Food and Chem. Toxicol.*, 46: 1488-1494.
- ZOLLER W.H.** (1984): Anthropogenic perturbations of metal fluxes into the atmosphere. *Changing metal cycles and human health. Berlin, Springer*, 27–34.

# ANNEXES

## Annexe 4 : Qualité microbiologique de l'eau de boisson dans les restaurants de Porto-Novo

**EDORH<sup>1</sup> A. Patrick, ENONHEDO<sup>2</sup> S. Frederic, ELEGBEDE MANOU<sup>3</sup> Bernadin, DOUGNON<sup>4</sup> Jacques, BOKO<sup>5</sup> Michel**

<sup>1</sup>Département de Biochimie et de Biologie Cellulaire, Faculté des Sciences et Techniques (FAST), Université d'Abomey-Calavi (UAC), 03 BP 0994 Cotonou, Bénin.

<sup>2</sup>Laboratoire de l'Eau, Institut de Mathématiques et de Sciences Physiques (IMSP), Université d'Abomey-Calavi (UAC).

<sup>3</sup>Direction Départementale des Mines, de l'Energie et de l'Eau de l'Ouémé-Plateau, Service de l'Eau du Plateau, BP : 53 Kétou-Plateau, Bénin.

<sup>4</sup>Ecole polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC), Département de Productions Animales, Université d'Abomey-Calavi (UAC), 01 BP 2009 Cotonou, Bénin.

<sup>5</sup>Laboratoire d'Etudes des Climats, des Ressources en Eau et de la Dynamique des Ecosystèmes (LECREDE) de la Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines (FLASH), Université d'Abomey-Calavi (UAC).

**Auteur pour la correspondance** : 03 BP 0994 Cotonou-Bénin, Tél : 00 (229) 97 07 15 96 / 93 80 31 33,

E-mail: [patrickedorh@yahoo.fr](mailto:patrickedorh@yahoo.fr)

### RESUME

*Cette étude a permis d'identifier les germes pathogènes présents dans l'eau de boisson servie dans les restaurants de la ville de Porto-Novo. L'enquête menée auprès de 50 vendeurs a permis d'observer que 74% d'entre eux servent l'eau du robinet à leurs clients et 20% servent l'eau des puits. Quarante pourcent (40%) ne couvrent pas le matériel de transport et*

*34% le matériel de stockage.*

**Les résultats des analyses physico-chimiques ont montré que les eaux sont douces. Elles ont une faible teneur en chlore et une bonne teneur en nitrates.**

*Les résultats des analyses bactériologiques ont montré que toutes les eaux sont contaminées par les germes banals et pathogènes. Au total, sept (7) germes ont été isolés : Clostridium spp, Escherichia coli, Pseudomonas spp, Salmonella spp, Shigella spp, Staphylococcus spp, Streptococcus spp. Parmi ces sept germes, Clostridium n'a pas été trouvé dans les eaux provenant des puits mais il est présent dans quatre échantillons sur les cinq qui ont pour source l'eau de la SONEB.*

*Ces micro-organismes pathogènes retrouvés dans l'eau de boisson des restaurants sont responsables de maladies telles que les diarrhées, les gastro-entérites, la fièvre typhoïde, recensées dans les centres de santé. Cette forte contamination de l'eau de boisson laisse envisager des mesures d'hygiène à prendre par les vendeurs lors du transport, du stockage et du prélèvement de l'eau destinée à la consommation humaine.*

**Mots clés** : Porto-Novo, Eau de boisson, germes pathogènes, maladies hydriques.

### ABSTRACT

*The aim of the present study was to identify the different germs present in drinking water used in the restaurants of Porto-Novo. An investigation had been carried out in the different restaurants. Out of 50 restaurants investigated, 74% use tap water and 20% serve well-water to their customers. The investigation has also shown that 40% don't have the habit of covering their transport materials and 34% don't use to cover their stockage materials.*

*The results of the physico-chemical analyses have shown that the different samples of water analysed are soft, they have a slight quantity of chlorine and a high content of nitrates. Among the ten samples, the pH of two of them are less than 6; so they have a high rate of CO<sub>2</sub> which is 13.32 mg/L for the sample number 7 and 14.96 mg/L for the sample number 10.*

*The results of the bacteriological analyses have shown that the different samples of water used are contaminated by pathogenic and banal germs. Seven (7) germs in total have been isolated : Escherichia coli, Clostridium spp, Streptococcus spp, Salmonella spp, Shigella spp, Pseudomonas spp, Staphylococcus spp. Among those seven germs, Clostridium hasn't been found in the samples of well-water, but it was present in four (4) samples out of the five (5) of tap water.*

*Those pathogenic micro-organisms found in the drinking water used in restaurants are the source of the diseases such as*



*diarrhea, gastric flus, typhoid fever, that are diagnosed in hospitals. That high contamination of drinking water raises the problem of the hygienic patterns that should be respected during the transport, the stockage and the usage of the drinking water.*

**Key words:** *Porto-Novu, Drinking water, pathogenic germs, hydric disease.*

## **1- Introduction**

Dans les villes béninoises, la couverture en eau potable n'est pas totale. Le manque d'eau de bonne qualité oblige les vendeurs de nos restaurants à utiliser l'eau de qualité douteuse. Ces eaux représentent un risque pour la santé de la population de la ville de Porto-Novo. Les restaurants fournissent une part importante de repas aux travailleurs dont le lieu d'activité est éloigné de leur domicile (AGBANSOU, 2006). Ces restaurateurs transportent et stockent l'eau de puits, de robinet ou de forage dans des plastiques, des bassines ou des sachets qui sont mal entretenus et qui ne sont pas désinfectés. Selon la qualité de ces éléments de transport, de stockage et de l'hygiène du milieu, l'eau est polluée ou contaminée. Selon la Banque Mondiale (1993), dans les pays en développement, 30% de l'ensemble des maladies sont dues à des pratiques à risques en matière d'hygiène. En 2004, l'OMS estime à 2,4 et à 1,1 milliards respectivement le nombre de personnes qui actuellement, n'ont pas accès à des moyens d'assainissement de base et à une eau de boisson saine. L'eau, l'assainissement et l'hygiène sont les composantes essentielles du développement durable et de la diminution de la pauvreté. Si la bataille pour l'accès à l'eau n'est pas nouvelle, celle pour sa qualité, en revanche l'est. Car depuis une trentaine d'années, cette qualité est menacée par les activités humaines (OMS, 2003).

En effet, le manque de contrôle de la qualité de l'eau de boisson des restaurants après prélèvement aux sources par les services d'hygiène et de l'assainissement de base met en cause la qualité microbiologique de l'eau servie à la population dans les restaurants.

La mise en évidence des microorganismes pathogènes contenus dans l'eau de boisson permettra une meilleure compréhension de la survenue des maladies hydroféciales dans la ville de Porto-novo.

## **2- Matériel et méthodes**

### **2.1- Matériel**

Les prélèvements d'eau de boisson ont été effectués dans une dizaine de restaurants à raison de deux restaurants par arrondissement. Les restaurants impliqués sont ceux situés à côté des services, des marchés et des écoles et qui de ce fait accueillent beaucoup de clients.

### **2.2- Méthodes**

Les prélèvements destinés aux analyses physico-chimiques ont été réalisés dans des flacons en plastique non stériles. Ces flacons sont ceux d'eau minérale thermale Possotomè.

Pour les prélèvements destinés aux analyses bactériologiques, des flacons en verre brun borosilicaté de 500 mL à bouchage émeri ont été utilisés. Ils ont été stérilisés puis protégés avec du papier aluminium au laboratoire central de la SONEB. Les prélèvements ont été faits en asepsie totale.

Une fois remplis, les flacons sont nettoyés, étiquetés et placés dans une glacière pour les analyses au laboratoire. Les échantillons destinés aux analyses bactériologiques ont été conservés dans un réfrigérateur à 5°C jusqu'à la fin des interprétations.

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées au laboratoire de l'eau de l'IMSP et les paramètres tels que température, pH, Basic Neutralizing Capacity, dureté, nitrates et chlore libre ont été mesurés.

Les analyses bactériologiques sont déroulées au Laboratoire Central de la SONEB à Vèdoko. La procédure suivie pour les analyses bactériologiques comporte plusieurs étapes à savoir :

- i)- Etape 1 : Recherche de germes banals ou autochtones dans l'eau.
- ii)- Etape 2 : Recherche présomptive des Coliformes sur le bouillon Mac-Conkey.
- iii)- Etape 3 : Recherche des Coliformes fécaux, notamment *Escherichia coli* sur le milieu gélose Eosine Bleu de

Méthylène (EMB) et Clostridium perfringens.

iv)- Etape 4 : Recherche d'autres agents pathogènes tels que Salmonella, Shigella, Staphylocoques et Pseudomonas.

Pour la fiabilité des résultats, des filtres (Sartorius, Cellulose Nitrate filter 0,45µm) ont été utilisés pour la recherche des germes. Pour les germes suivants : Streptocoques fécaux, Clostridium perfringens, Staphylocoques fécaux, Salmonella-Shigella, Pseudomonas aeruginosa nous avons utilisé respectivement les milieux : gélose de Slanetz, gélose de TSN, milieu de Chapman, gélose SS (Salmonella-Shigella), milieu KingA.

### 3- Résultats

La température varie entre 27 et 30°C. Le pH varie entre 5,5 et 6,5. Pour les deux échantillons (n°7 et n°10) qui ont un pH inférieur à six (6), the Basic Neutralizing Capacity (BNC) est de 12,32 mg/L de CO<sub>2</sub> pour l'échantillon 7 et de 14,96 mg/L de CO<sub>2</sub> pour l'échantillon 10. La dureté varie entre 0,2 et 1,4°f. La teneur en nitrates des eaux analysées varie entre 2,21 mg/L et 24,36 mg/L. Les valeurs trouvées pour le chlore libre sont entre 0,02 et 0,08 mg/L de Cl<sub>2</sub>.

Ces résultats sont consignés dans le Tableau I.

Tableau I : Résultats des analyses de quelques paramètres physico-chimiques

Désignation	Echantillons									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Numéro										
Lieu de prélèvement	Kpacon nou	Maman valée	Louh tokpa	Djassin tokpa	Boulevard Djassin	Face Musée	Carrefour Y	Carrefour DKP	Dotonon	Faosi at
Nature du matériel de stockage	Jarre ouverte	Plastique couverte	Plastique ouverte	Plastique couverte	Jarre ouverte	Plastique ouverte	Plastique ouverte	Jarre couverte	Plastique couverte	Plastique couverte
Source	Puits	Puits Chlor	Forage	SON EB	SON EB	SON EB	SON EB	Puits	SON EB	Puits
Date et heure de Prélèvement	01/07/06	01/07/06	01/07/06	01/07/06	01/07/06	01/07/06	01/07/06	01/07/06	01/07/06	01/07/06
Température	28	29	27	29	28	30	29	29	29	29
Potentiel Hydrique	6	6	6	6	6,5	6	5,5	6	6,5	5
Basic Neutralizing Capacity (mg/L CO <sub>2</sub> )	—	—	—	—	—	—	12,32	—	—	14,96
Dureté (°f)	1,4	0,3	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,7	0,4	0,4
Chlore libre (mg/L de Cl <sub>2</sub> )	0,03	0,02	0,02	0,07	0,08	0,02	0,04	0,03	0,03	0,02
Nitrate	16,83	2,21	11,98	10,19	8,41	9,30	13,29	7,97	8,86	24,36

Source : Présente étude

Les résultats des analyses bactériologiques sont consignés dans les tableaux II et III.

Tableau II : Résultats des analyses bactériologiques

Paramètres				Références des prélèvements			
Désignations	Unité	NG	CMA	Kpaconnou (Jarre ouverte)	Maman Valée (Plastique couvert)	Louho tokpa (Plastique ouvert)	Djassin tokpa (Plastique couvert)
Source de l'échantillon	-	-	-	Puits	Puits chloré	Forage	SONEB
Date et heure de Prélèvement	-	-	-	03/07/06 12h45	03/07/06 12h56	03/07/06 13h10	03/07/06 13h21
Dénombrements des germes banals en 24h à 37°C	UFC/ml	20	50	innombrable	18	34	innombrable
Dénombrements des germes banals en 48h à 37°C	UFC/ml	20	50	innombrable	27	innombrable	innombrable
Recherche présumptive des coliformes	Positive ou Négative	Négative	Négative	Positive	Positive	Positive	Positive
Dénombrements des Clostridium sulfito-réducteurs	UFC/100ml	0	0	00	00	00	10
Dénombrements des Escherichia coli après 48h à 44°C	UFC/100ml	0	0	38	10	80	innombrable
Dénombrements des streptocoques fécaux après 24h à 37°C	UFC/100ml	0	0	14	00	04	innombrable
Recherche présumptive des Salmonella et Shigella	Positive ou Négative	Négative	Négative	Positive	Positive	Positive	Positive
Recherche présumptive des Pseudomonas	UFC/100ml	Négative	Négative	Positive	Positive	Positive	Positive
Dénombrements des Staphylocoques après 36h à 37°C	UFC/100ml	0	0	30	20	08	innombrable
Conclusion	-	Eau saine	Eau saine	Eau souillée	Eau souillée	Eau souillée	Eau souillée

NG : Niveau Guide

CMA : Concentration Maximale Admissible

Source : Présente étude

Tableau 3 : Résultats des analyses bactériologiques (suite et fin)

Paramètres	Références des prélèvements					
Désignations	Face Pharmacie Boulevard djassin (Jarre)	Face musée Honmè (Plastique ouvert)	Carrefour Y (Plastique ouvert)	Carrefour DKP (Jarre ouverte)	Dotounon (Plastique couvert)	La capitale (Plastique couvert)
Source de l'échantillon	SONEB	SONEB	SONEB	Puits	SONEB	Puits
Date et heure de prélèvement	03/07/06 13h30	03/07/06 13h49	03/07/06 13h57	03/07/06 14h06	03/07/06 14h16	03/07/06 14h28
Dénombrements des germes banals en 24h à 37°C	innombrable	25	44	36	51	31
Dénombrements des germes banals en 48h à 37°C	innombrable	innombrable	innombrable	48	innombrable	56
Recherche présomptive des coliformes	Positive	Positive	Positive	Positive	Positive	Positive
Dénombrements des Clostridium sulfito-réducteurs	12	02	04	00	00	00
Dénombrements des Escherichia coli après 48h à 44°C	innombrable	innombrable	innombrable	18	36	16
Dénombrements des streptocoques fécaux après 24h à 37°C	98	04	innombrable	124	innombrable	72
Recherche présomptive des Salmonella et Shigella	Positive	Positive	Positive	Positive	Positive	Positive
Recherche présomptive des Pseudomonas	Positive	Positive	Positive	Positive	Positive	Positive
Dénombrements des Staphylocoques après 36h à 37°C	innombrable	48	innombrable	18	innombrable	78
Conclusion	Eau souillée	Eau souillée	Eau souillée	Eau souillée	Eau souillée	Eau souillée

NG : Niveau Guide

CMA : Concentration Maximale Admissible Source : Présente étude

Selon la méthodologie des analyses bactériologiques réalisées, la recherche de la présence de germes banals dans l'eau de boisson à l'étape 1 et celle des Coliformes indicateurs de pollution à l'étape 2, a permis d'établir les tableaux 4 et 5.

Tableau 4: Analyse statistique des 1ère et 2ème étapes de l'algorithme (eau désinfectée)

Germes banals et Coliformes Echantillons	< 20 UFC et absence coliformes	< 20 UFC et présence coliformes	> 20 UFC et absence coliformes	> 20 UFC et présence coliformes
Nombres	0	0	0	6
Pourcentage (%)	0	0	0	100

Source : Présente étude

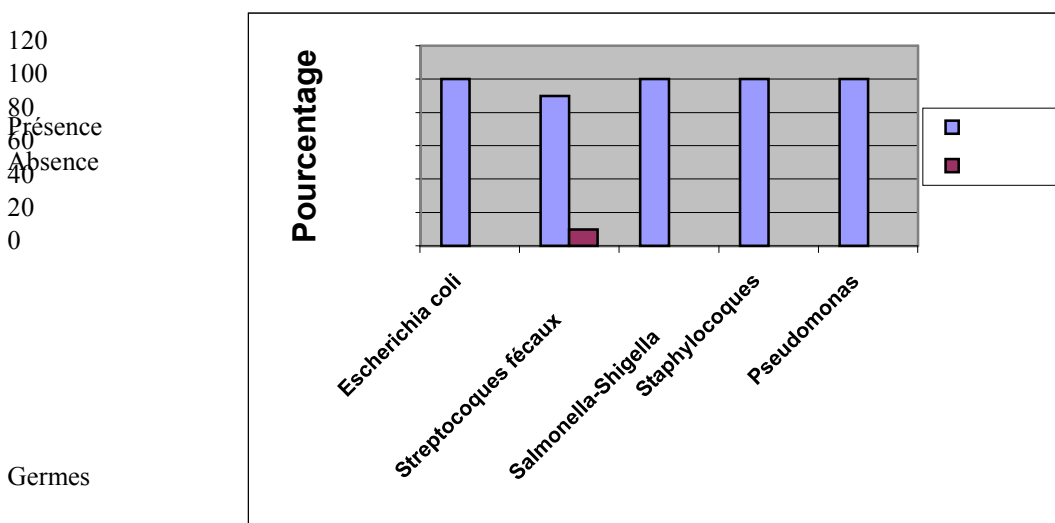
Tableau 5 : Analyse statistique des 1ère et 2ème étapes de l'algorithme (eau non désinfectée)

Germes banals et Coliformes Echantillons	< 50 UFC et absence coliformes	< 50 UFC et présence coliformes	> 50 UFC et absence coliformes	> 50 UFC et présence coliformes
Nombres	0	1	0	3
Pourcentage (%)	0	25	0	75

Source : Présente étude

Les étapes 3 et 4 de l'algorithme concernent la recherche de : Escherichia coli, Streptocoques fécaux, Clostridium perfringens, Salmonella, Shigella, Staphylocoques et Pseudomonas. Le graphe 1 traduit la présence ou l'absence de ces germes à l'exception de Clostridium perfringens dans les eaux analysées.

Graphe 1 : Histogramme traduisant la présence ou l'absence de certains germes dans les eaux de boisson des restaurants de la ville de Porto-Novo.

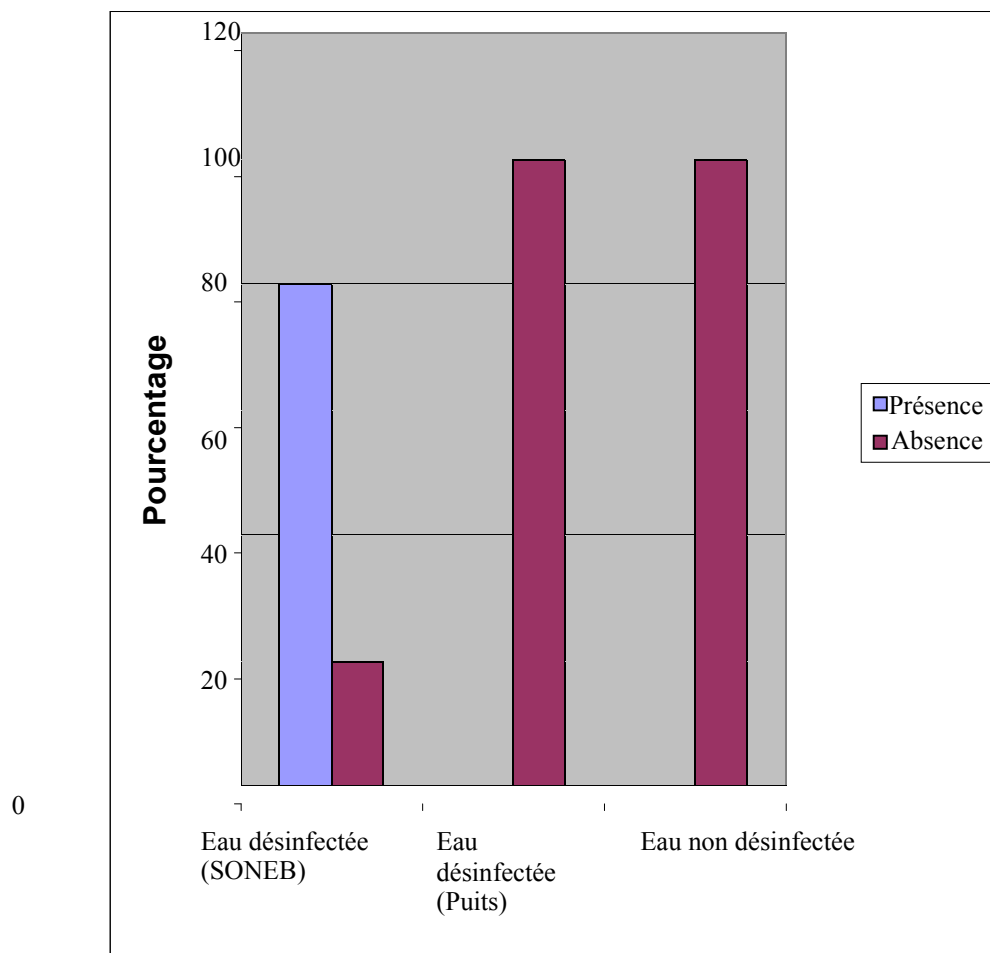


D'après ce graphe, toutes les eaux sont contaminées par les germes d'Escherichia coli et par les germes pathogènes comme Salmonella, Shigella, Staphylocoques et Pseudomonas. En

ce qui concerne les germes des Streptocoques fécaux, 90% des eaux sont contaminées à l'exception de l'eau du puits chlorée.

Le graphe 2 montre le cas particulier des Clostridium perfringens.

Graphe 2 : Histogramme traduisant la présence ou l'absence des germes de Clostridium perfringens dans les eaux de boisson des restaurants de la ville de Porto-Novo.



## **Clostridium perfringens**

Parmi les eaux désinfectées, 0,67% sont infectées par les germes de Clostridium perfringens. Notons que dans les cinq prélèvements ayant pour source la SONEB quatre sont infectés par les Clostridium soit 80%. Les eaux des puits et du forage sont indemnes des germes de Clostridium perfringens.

Toutes les eaux de boisson prélevées dans les restaurants (lieu d'alimentation de rue) de la ville de Porto-Novo sont souillées; c'est-à-dire contaminées par les germes de contamination fécale et autres entérobactéries.

### **4- Discussion**

D'après le décret n°2001-094 du 20 février 2001 fixant les normes de qualité de l'eau potable en République du Bénin, une eau destinée à la consommation humaine doit avoir un pH compris entre 6,5 et 8,5; une valeur en nitrates inférieur à 45 mg/L et une valeur minimale de 0,10 mg/L de chlore au niveau de l'abonné. Les eaux analysées sont très douces car la dureté est comprise entre 0 et 15°f.

La majorité des échantillons analysés ont un pH égal à 6. Ces eaux sont donc légèrement acides. Cette acidité peut s'expliquer par la teneur élevée du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) dans l'eau. Pour les deux échantillons (n° 7 et n° 10) qui ont un pH inférieur à six, the Basic Neutralizing Capacity (BNC) sont respectivement de 12,32 mg/L et de 14,96 mg/L de CO<sub>2</sub>.

Les valeurs en nitrates trouvées sont nettement inférieures à la valeur normale (45 mg/L).

Or la présence de nitrates dans une eau révèle une contamination d'origine fécale. Les valeurs élevées, 16,83 et 24,36 mg/L sont respectivement celles des échantillons n°1 et n°10 provenant des puits. Le risque de pollution de l'eau d'un puits est d'autant plus grand que la nappe est proche de la surface du sol. Les puits domestiques sont généralement de faible profondeur. A Porto-Novo, les puits domestiques captent l'eau au niveau de la nappe phréatique supérieure (15 m de profondeur). Or ce niveau superficiel est fortement influencé par des manifestations d'origine humaine et aussi par des risques d'intrusion saline des plans d'eau environnants (Degnide, 2004). Des pesticides, des nitrates et des bactéries peuvent facilement s'infiltrer à ces profondeurs (Hallet, 1998). La plupart des eaux de puits de Porto- Novo ont une contamination minérale d'origine fécale. Cette contamination constatée au niveau de nos échantillons analysés pourrait donc avoir pour origine le puits et/ou le transport et le stockage de l'eau.

Les valeurs de chlore libre trouvées sont entre 0,02 et 0,08 mg/L de Cl<sub>2</sub>. La norme béninoise prévoit 0,1 mg/L de Cl<sub>2</sub> au robinet du consommateur. Ce taux de chlore résiduel ne garantit pas la santé des consommateurs.

La recherche de germes banals et des coliformes indicateurs de pollution permet de statuer sur deux situations fixées par le décret n° 2001-094 du 20 février 2001 qui fixe au plus 20 germes pour les eaux désinfectées et 50 germes pour les eaux non désinfectées. Les deux situations sont justifiées par le fait que cinq des dix restaurateurs ont stocké l'eau de la SONEB, un en a stocké l'eau d'un puits chlorée et les quatre autres, l'eau de puits non désinfectée.

De cette étude, il ressort que toutes les eaux prélevées, y compris celles de la SONEB, ont été contaminées par les Coliformes. Cette contamination peut être soit d'origine fécale, généralement pathogène, ou soit d'origine tellurique ou aquatique (Tableaux 4 et 5). De plus, elles renferment toutes des germes banals à l'exception de l'échantillon du carrefour Djègan- Kpèvi (échantillon n°8).

Selon le même décret, les eaux désinfectées ou non ne doivent pas contenir des colonies d'Escherichia coli et des colonies de germes pathogènes. Toutes les eaux sont contaminées par les germes d'Escherichia coli et par les germes pathogènes comme Salmonella, Shigella, Staphylocoques et Pseudomonas (Graphe 1). En ce qui concerne les germes des Streptocoques fécaux, 90% des eaux sont contaminées sauf l'eau du puits chlorée (échantillon n°2).

Le cas des Clostridium perfringens signalé par le graphe 2 montre que 0,67% des eaux désinfectées sont infectées. Signalons que dans les cinq prélèvements ayant pour source la SONEB quatre sont infectés par les Clostridium soit 80%. Les eaux des puits et du forage sont indemnes des germes de Clostridium perfringens. Ce qui confirme alors que cette infection n'est pas dû à l'hygiène environnementale.

Toutes les eaux prélevées dans les restaurants sont contaminées. Ces eaux fortement polluées par les entérobactéries pathogènes sont les principales sources probables des maladies telles que le choléra, la diarrhée, la fièvre typhoïde et certaines gastro-entérites. Ces résultats confirment l'analyse du contexte sanitaire de la ville.



La propagation du choléra est croissante au sein des populations vulnérables qui vivent dans un environnement insalubre. Elles sont exposées au risque de flambées de choléra et d'autres maladies diarrhéiques à potentiel épidémique (OMS, 2006). Même si l'eau n'est pas contaminée à la source, elle l'est lors du transport, du stockage et surtout lorsque chaque client plonge un bol dans l'eau de boisson.

Dans les villes des pays du sud en général et à Porto-Novo en particulier où les conditions d'assainissement et d'hygiène ne sont pas encore les meilleures, la population est exposée aux maladies hydriques causées par les microorganismes pathogènes. Beaucoup de maladies sont directement liées aux mauvais comportements d'hygiène et aux conditions environnementales (FAO/OMS, 1990). L'OMS estime actuellement à 1,6 million le nombre des décès annuels dus à l'insalubrité de l'eau et à l'absence de moyens d'assainissement de base.

En parlant d'hygiène autour de l'eau, rares sont les restaurants de la ville qui sont bien construits. Ce sont généralement des tentes ou paillotes de fortune érigées avec des matériaux tels que le bois, la natte, les branches des palmiers. Ces tentes deviennent des nids pour les margouillats, les blattes et autres insectes. Ceci participe activement à la pollution de l'eau stockée qui n'est pas souvent couverte. A cette situation s'ajoute l'état de la voie passant devant le restaurant dont la poussière soulevée par le passage des véhicules finit par se déposer dans l'eau. Ce manque d'hygiène (débris des matériaux de construction, déjection des margouillats, des insectes et la poussière) pollue l'eau de boisson (Photos 1 et 2).



Photo 1



Photo 2

Exemples de restaurants installés aux abords des voies à Porto-Novo

Source : Présente étude

La gestion de l'environnement, de l'hygiène et la responsabilité de la qualité de l'eau que doit consommer la population d'une commune vient d'être confiée aux élus locaux par la nouvelle réforme administrative. Ils doivent prendre à cœur ce problème en cherchant des solutions convenables surtout en ce qui concerne l'eau de boisson des restaurants.

## 5- Conclusion

L'eau douce est essentielle pour la santé, non seulement parce qu'elle est nécessaire à la population, mais parce que l'homme a besoin d'eau propre pour ses besoins. Cette étude a porté sur la qualité microbiologique de l'eau de boisson servie dans les restaurants et nous a permis d'identifier les principales sources de contamination de l'eau de boisson.

L'eau contaminée reste le moyen par lequel sont transmises de nombreuses infections parfois mortelles. Elle est donc le principal véhicule de transmission de plusieurs maladies.

A Porto-Novo, l'eau ne fait pas défaut. Par contre, la population est exposée aux maladies liées à l'hygiène autour de l'eau selon les données épidémiologiques. La majorité des vendeurs des restaurants s'approvisionnent en eau de boisson hors de leur restaurant. L'étude de la pollution de l'eau de boisson des restaurants a mis en évidence un état de dégradation rapide de la qualité de cette eau. Ce qui est sans doute l'une des causes de recrudescence des maladies gastro-entériques et diarrhéiques assez courantes et régulièrement traitées dans les centres de santé de la ville.

## Références bibliographiques

- Agbansou B., 2006 : Problématique des aliments de rue à Cotonou : analyse de la situation aux abords du marché Dantokpa. *Mémoire de fin d'étude, Environnement, Hygiène et Sécurité, ISFAC/USAM, Bénin*, 49 p.
- Breuil F., 2004 : La situation mondiale concernant l'eau de boisson et l'assainissement.
- Chauliac M., Monnier T., Agbendech, 1994 : Les écoliers de Bamako et l'aliment de rue. *Cahier de santé*, 413-423.
- Cheron J., 2006 : Maîtriser le risque Légionelles. *ISBN : 2-900086-67-1*
- Degnide M. A., 2004 : Pollution des puits domestiques à Porto-Novo : Etude de quelques quartiers situés en bas de pente. *Mémoire de DESS/DGE, Institut de Mathématiques et de Sciences Physiques, UAC*, 77 p.
- FAO/OMS, 1990: Draft code of hygienic practice for the preparation and sale of street foods. *Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires*.
- Fresnel J., Renaud F., Hansen W., Bollet C., 1994 : Manuel de bactériologie clinique (volume 2). *Collection Option Bio, Edition Elsevier, Paris*, 457 p.
- Hallet V., 1998 : Etude de la contamination de la nappe de Hesbaye par les nitrates : Hydrogéologie, Hydrochimie et modélisation mathématique des processus d'écoulement et de transport en milieu saturé- *Thèse de doctorat en sciences. Université de Liège, Belgique*, 361 p.
- Leclerc H., 2002 : Microbiologic agents associated with waterborne diseases - Critical review in microbiology. *Institut de veille sanitaire, audition de M. P. Baudeau*.
- OMS, 2003 : Santé et Environnement. Bilan trimestriel de la représentation au Bénin. N° 23- 4<sup>ème</sup> trimestre.
- OMS, 2004 : Global water supply and sanitation assessment 2000 reprot. Genève/Fonds des Nations Unis pour l'enfance.
- OMS, 2004 : Water Sanitation Health.
- OMS, 2006 : Weekly epidemiological record, 2006, 81, 297-308
- UNICEF, 1998 : Comment susciter un meilleur comportement en matière d'hygiène : importance des mécanismes de changement en santé publique. La Haye, 47 p.

## Annexe 5: Comparison of the toxic metals pollution in soil, water and vegetables on three major gardening sites of Benin

KOUMOLOU<sup>1</sup> Luc, EDORH<sup>2</sup> A. Patrick, ELEGBEDE<sup>3</sup> Bernadin, AKLIKOKOU<sup>4</sup> A. Kodjo

<sup>1</sup>Laboratory of Toxicology and Environmental Science, 03 BP 1463, Jéricho, Cotonou, Benin.

<sup>2</sup>Department of Biochemistry and Cellular Biology, University of Abomey-Calavi (UAC), 03 PO. BOX 0994 Cotonou, Benin.

<sup>3</sup>Interfaculty Centre of Training and Research in Environment for Sustainable Development (CIFRED), University of Abomey-Calavi (UAC), 03 PO. BOX 1463, Jéricho, Cotonou, Benin.

<sup>4</sup>Department of Physiology/Pharmacology, Faculty of Science, University of Lome (UL), PO. BOX 1515, Lome, Togo.

Corresponding author: KOUMOLOU Luc, Laboratory of Toxicology and Environmental Science, 03 BP 1463, Jéricho, Cotonou, Benin. E-mail: [heraluc@yahoo.fr](mailto:heraluc@yahoo.fr)

*Received in May 2011, accepted in November 2011 for publication in Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology under N° JECE-11-035*

---

### ABSTRACT

This study attempted to establish a link between the level of pollution of garden sites in lead, cadmium and arsenic and the health quality of vegetables through the quality of the irrigation water. Composite samples of vegetables, irrigation water and soil were taken in the same periods from two garden sites at in the city of Cotonou and Aplahoué village. The samples were analyzed by electro-thermal atomic absorption spectrophotometer for the level of lead (Pb), cadmium (Cd) and arsenic (As). Prior to analysis, the samples were properly treated by mineralization. The results showed that all the vegetables grown on the three sites are contaminated with Pb, Cd and a As, as well as their irrigation water and the soil on which they are grown. But, the link attempted to be established by the statistical Student p test ( $T > t$ ) = 0.05 between pollution of soil, irrigation water and quality of vegetables, could not be obvious, it has been discussed. Soil pollution with toxic metals seems to be of less important and does not directly influence the contamination of vegetables but the level of contamination of irrigation water is much closer to that of vegetables.

**Keywords:** Toxic metals, soil, water, gardening sites, vegetable quality, Benin.

---

## INTRODUCTION

Market garden products are sought to address micronutrient, vitamin and protein deficiencies in Africa where food rations is mainly consisted of grain (Jacobi et al., 2000; Mougeot, 2000). With the economic crisis in Cotonou Benin, there has been an increase in the number of gardens as well as the cultivated areas (Assogba and Miguel, 1999). Most of the plots are scattered in cities, as the case of Cotonou. In these cities, many of the gardens are either on old garbage dumps or located near swamps, which are for most of them, areas of dumping of all kinds (Mougeot, 2000). It is not rare to find in these garbage, the used batteries, paint pots, oil, crap metals, drugs and laboratory reagents. All these products are known to be direct or indirect emitting sources of toxic metals. In this environment, there is no guarantee about the sanitary quality of the harvested products. However, there exist some gardening sites in semi-rural regions that are less polluted, such as the sites in Aplahoué. But the poor farming

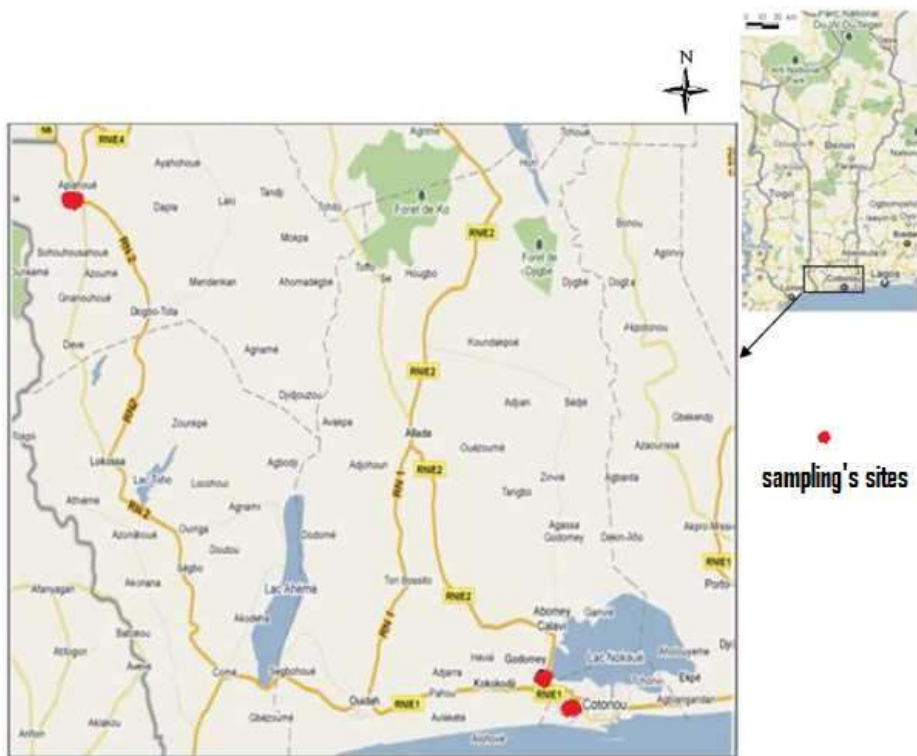
practice regulations are also a threat to the health quality of garden produces (Assogba-Komlan et al., 2007). In fact, in Benin, market constraints, land and parasitic pressures force farmers to practice intensive phyto-sanitary treatment. It is well known that some farming practices are responsible for the introduction of traces of metal in gardening soils. Products intended to improve the physico-chemical properties of soils are often rich in heavy metals than the soil itself (Alloway, 1995). We can cite: fungicides (Deluisa et al., 1996), fertiliser, and composts (Robert et Juste, 1999). The purpose of this current work is then to try to establish a direct link between the pollution of a garden site and the sanitary quality of the vegetables that are cultivated there. The site of Aplahoué, apparently less subject to population pressure is taken as comparison with the gardening sites of the city of Cotonou.

## MATERIALS AND METHODS

### Study area

Two sites in Cotonou and another in Aplahoué, far about 15 km from Cotonou,

have been our study framework, presented in the Figure 1 below.



**Figure 1: Map of the study area [Cotonou (Houéyiho + Godomey) and Aplahoué]**

Houéyiho site, 15 hectares in area is located in the heart of the city, in a fenced enclosure, which is less affected by population activities. It is the most important site in Cotonou where market produces gardening is permanent and organized with a compost production unit from the garbage collected. Inside the site are small shallows that are used for the watering of the vegetables. Conversely, gardening on the Godomey site is intermittent, and the site is located on a flood plain, a swamp site having on its edge a pile of garbage of all kinds. Aplahoué site is a large crop field where irrigation water

comes from a small river that runs through fields of cotton and food crops.

### Processing and Analysis

Composite samples of soil and irrigation water as along with eight different species of vegetables *Amaranthus hybridus* (amarante), *Daucus carota* (carrot), *Lactuca sativa* (lettuce), *Spinacia oleracea* (spinach), *Allium cepa* (green onion), *Brassica oleracea* (cabbage), *Corchorus olitorius* (fiddle), *Salanum macrocarpum* (nightshade) were collected.

The numbers of soils, water and vegetables samples are presented in the Table 1 below:

**Table 1: Numbers of soils, water and vegetables samples**

Sites	Godomey	Houéyiho	Aplahoué
Number of soils samples	7	7	7
Number of water samples	7	7	7
Number of vegetables samples	8	8	8

All the samples have undergone for the necessary treatment before heavy metals analysis. The samples were then analysed according to the method described in Anane et al. (1995) and Vaidya and Rantala (1996) by electro-thermal atomic absorption spectrophotometer.

All samples are cleaned and stored initially in the oven first at 50° C for 12 hours then increased to 120 ° C for 24 hours. But water samples are maintained at 4° C. After grinding in a mortar, 2g of each lyophilized sample is soaked in a mixture of hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) and nitric acid for 24 hours and then undergo an acid digestion in a digester (sand bath at 125° C for 2 hours). The digest was recovered in a 100 ml flask and completed with distilled water to the mark. It is then filtered and stored at 4° C until analysis for the extraction of heavy metals by atomic absorption spectrophotometer (Thermo Orion corrected Solaar S2), in the Laboratory Management, Treatment and Recovery Waste of the University of Lome in Togo. The analysis was performed by interpolation on

calibration curves obtained with standard solutions. The results displayed by the software Solaar S2 on the computer screen connected to the spectrophotometer, are expressed in mg/kg or mg/L or ppm.

The corrected concentration is obtained by calculating:

Finale concentration = (Concentration on the screen x 100 ml)/2g

### Statistical tests

Results are presented in tables as mean with standard deviation and analysed using Stata 8.0 software. All statistical treatments performed in this study show many comparisons.

This procedure involves comparing pairwise all or part of the results using Student t test ( $T > t$ ) = 0.05.

### RESULTS

The results are summarized in Tables 2, 3 and 4.

**Table 2:** Soil contamination by toxic metals at the three sites

Norms (Smit,1998)	Lead (ppm)			Cadmium (ppm)			Arsenic (ppm)		
	85			0.80			29		
Sites	G	H	A	G	H	A	G	H	A
Samples of soils	9.527	49.75	4.62	0.74	0.09	0.63	151.2	138.79	112.34
	9.956	47.92	4.62	0.81	0.04	0.72	165.1	142.58	107.43
	11.24	50.72	5.02	0.74	0.03	0.56	158.8	151.33	115.55
	10.12	50.20	5.10	0.83	0.08	0.93	162.0	145.94	104.76
	9.75	48.51	4.92	0.75	0.04	0.89	160.8	139.84	92.69
	10.81	51.67	4.72	0.77	0.03	1.10	153.3	137.91	92.22
Average	10.18	49.7	4.84	0.75	0.05	0.78	159.20	144.24	105.75
± S D	±0.61 a	±1.29b	±0.19a	±0.06a	±0.02b	±0.19a	±5.16a	±6.16 a	±9.89 a
C. factors	0,11	0,58	0,05	0,98	0,06	0,98	5,48	4,97	3,64

G, H and A are respectively the initials for Godomey, Houéyiho and Aplahoué.

SD= Standard Deviation

T-test: Means for identical letter for the same metal are not significantly different; those with different letters for the same metal are significantly different. So  $p < 0.05$  for Cd and Pb between Houeyiho and the other two sites; for the rest  $p > 0.05$ .

C. factors or contamination factor (CF) is the report of the concentration of the heavy metal in the sample to its concentration limits (Gnandi et al., 2006). It indicates the pollution level of sample in comparison with the limit concentration. For example, CF for the soils samples will be expressed by  $CF = [\text{Soils}]/\text{Norm}$ .

**Table 3:** Contamination of irrigation water by toxic metals at the three sites

	Lead (ppm)			Cadmium (ppm)			Arsenic (ppm)		
Norms (GESAMP, 1982)	0.4			0.21			0.1		
Sites	G	H	A	G	H	A	G	H	A
Samples of water	4.81	2.85	2.24	1.65	0.79	0.92	583.11	335.41	281.02
	5.07	3.51	3.10	1.45	0.82	0.62	592.82	344.52	280.51
	3.97	3.52	2.09	1.43	0.79	0.74	571.81	353.12	269.61
	4.96	3.45	2.51	1.16	0.92	0.90	542.51	343.94	282.41
	5.41	3.52	3.50	1.80	0.72	0.83	502.41	342.14	265.71
	5.71	3.54	2.81	1.62	0.83	0.65	573.71	336.54	275.91
	5.54	3.35	2.41	1.63	0.99	0.85	572.93	356.13	285.90
Average ± SD	5.06 ±0.58b	3.39 ±0.24a	2.66 ±0.50a	1.53 ±0.20b	0.83 ±0.09a	0.78 ±0.11a	562.75 ±30.75b	344.54 ±7.76a	277.29 ±7.29a
C. factors	12.67	8.47	6.67	7.33	4	37.6	5626.6	3445.5	2773.0

T-test: The values for identical letters, for the same metal are not significantly different; those with different letters for the same metal are significantly different.  $P < 0.05$  for Pb, Cd and As between Godomey and each of the other two sites; for the rest  $p > 0.05$ .

Contamination factor = [Water]/Norm

**Table 4:** Contamination of vegetables by toxic metals at the three sites

	Lead (ppm)			Cadmium (ppm)			Arsenic (ppm)		
Norms	0.3 (INERIS, 2006)			0.05 (CE/466/2001)			0.1 (CE/466/2001)		
Sites	G	H	A	G	H	A	G	H	A
<i>L. sativa</i>	4.84	3.10	6.03	0.89	0.63	0.07	237.62	260.48	315.13
<i>A. hybridus</i>	5.01	3.73	5.92	0.93	5.13	0.32	171.63	259.92	302.15
<i>S. macrocarpum</i>	2.52	3.38	5.99	0.82	0.64	0.81	282.73	316.28	219.19
<i>B. oleracea</i>	6.69	3.12	6.32	1.73	0.55	0.79	230.81	325.30	195.08
<i>D. carota</i>	1.06	1.14	2.37	1.22	0.72	0.53	300.51	251.45	270.18
<i>C. olerorius</i>	3.5	4.76	5.52	0.91	1.17	1.10	271.76	241.41	255.12
<i>A. cepa</i>	2.85	3.36	4.80	0.43	0.26	0.34	358.67	323.52	196.4
<i>S. oleracea</i>	4.08	3.46	4.95	0.34	0.52	0.75	231.84	204.01	232.02
Average ± SD	3.82 ±1.73	3.25 ±1.00a	5.24 ±0.88b	0.91 ±0.43	1.20 ±1.60	0.59 ±0.33	260.70 ±56.04	272.80 ±44.25	248.16 ±45.56
C. factors	12,73	10,86	17,46	18,2	24	11,8	2607	2728	2481,6
C. of transfer	0,37	0,06	1,08	1,19	24	0,74	1,63	1,89	2,34

T-test: Numbers (values) followed by letters are significantly different, others are not for the same metal.  $P <$

$0.05$  for Pb between Houéyiho-Dokomey (They are significantly different for the Pb), for the rest  $p >$   
 $0.05$

Contamination factor = [Vegetable]/Norm

C. transfer or coefficient of transfer (CT) expresses the relationship between soil and vegetable growing in this soil.  $CT =$   
[Vegetable]/[Soil]. If CT exceeds 1, it means that the amounts of metals in the vegetables passed over those in the soil: it is the bioaccumulation.

## DISCUSSION

The results show that all the vegetables grown on the three sites are contaminated with Pb, Cd and As, as well as their irrigation water and the soil (Tables 2, 3 and

4), but the level of contamination varies from one site to another. The amounts reveal that for the soils, the contamination is less important than contamination of the other samples. Besides, the norms of the lead and the cadmium are not over passed in soil. Contrary to the irrigation water and the vegetables, the regulatory limits are over passed. According to Table 2, levels of soil pollution are significantly different for Pb and Cd at the Houéyiho site compared to the other two sites ( $p < 0.05$ ). Normally, the use of waste to make compost at the Houéyiho site should decrease the level of lead according to Compaoré and Nanéma (2010). The proof is that the level of cadmium in the soil on this site is the lowest ( $0.05 \pm 0.02$  ppm). However, data about the amount of metals in the soil seem to be of less importance (Miquel, 2001). Indeed, beside the case of Pb between Houéyiho and Aplahoué (Table 4), vegetables on the three sites have statistically the same contamination level of toxic metals ( $p > 0.05$ ) in spite of the significant difference between the toxic metals levels in the soils. Thus, the contamination of the vegetables by toxic depended not only on the contamination level of the soils. Besides, in the watering water, levels of metals pollution are higher and significantly different for Pb, Cd and As on the Godomey site compared to Houéyiho and Aplahoué sites ( $p < 0.05$ ) in spite of no-significant difference between the toxic metals levels in the vegetables. Godomey records the highest contents for the three metals: Pb (5.07 versus 3.39 and 2.67 ppm), Cd (1.54 versus 0.84 and 0.78 ppm) and As (562.66 versus 344.55 and 277.30 ppm). Thus, like the case of soil, the concentration of the

vegetables in a metal did not depend only on its amount in the water. However, the amount of the metal in the irrigation water at least seems to influence the contamination of the vegetables. In fact, apart the case of Godomey that has been explained above, levels of Cd and As in water at the sites of Houéyiho and Aplahoué are not significantly different as well as levels of these two metals in vegetables at these two sites. Even though it is only an insignificant quantity at the site, the bio-available level of a micro-pollutant represents all the molecules in the surrounding area that is able to contaminate the organisms (Brümmer et al., 1986). In this case, a metal found in the irrigation water represents the total quantities of metal in solution, but metals found in the vegetables are those that are rather ionized or free in the air (Tessier and Turner, 1995). For Cd, and As that are ionisables, and as such are bio-available to plants (Camobreco et al., 1996; Richards et al., 1998; Vulkan et al., 2002; Pitten et al., 1997; Gong et al., 2002), their concentrations in the water are close to those found in the vegetables. It's not the same with Pb. When its concentrations in the water at the two sites are not significantly different, there is significant difference between its levels in vegetables (Table 3 and 4). This is the case of the Houéyiho and Aplahoué sites.

In the contrary, when concentrations of lead in the water at two sites are significantly different, there is not significant difference between their levels in the vegetables. This is the cases between Godomey and Houéyiho or Godomey and Aplahoué. Everything happens like the levels of lead found in the vegetables are not linked to the irrigation water. Normally, there should not be higher level of lead in vegetables (Martin and Bullock, 1994) because it is not ionized (Ablain, 2002). However, according Table 4, Pb is abundantly found in the vegetables; it means that it should be from various sources. Mench et al. (1993) thought that the Pb found in the vegetables is mostly



atmospheric. Then the vegetables-leave would have been exposed than those without leave. Such hypothesis is proved by the results. Indeed, levels in lead of *D. carota* and *A. Ceba* that are leaveless vegetables, respectively being among the low-level group (1.06 and 2.85 versus average 3.82 ppm at Godomey site; 1.14 and 3.36 versus average 3.26 ppm at Houéyiho site; 2.37 and 4.80 versus 5.24 ppm at Aplahoué site). So the contamination of vegetables does not only depend on the toxics levels in the soil neither in the watering water but also to bio-availability of metal (Xian, 1989). Studies have highlighted some other factors involved in the bioaccumulation of toxic metals by organisms, such as: the speciation of the metal, the intrinsic nature of the organism, and the biotic and physico-chemical factors (Luoma, 1983; Simkiss and Taylor, 1995). About this, the results show that some amounts of metals in the vegetables passed over those in the soil (Table 4): it is the bioaccumulation. Therefore, there was bioaccumulation of the cadmium and the arsenic in the vegetables produced on the sites of Godomey and Houéyiho. But, there was no bioaccumulation of the lead on the sites of Godomey and Houéyiho; only the vegetables of the site of Aplahoué bioaccumulated lead but weakly (5.24 mg/kg in the vegetable against 4.85 mg/kg in soil). This confirms the works of Camobreco et al. (1996) for Cd, and As and the works of Ablain (2002) for Pb. Besides, the overall results help to notice that high urban and atmospheric pressures in Cotonou where the Godomey and Houéyiho sites are located, have significantly influenced the contamination in toxic metals of the soils, the irrigation water and the vegetables when we compare the results from these sites to those of the site in Aplahoué, a rural area. For, it is in Aplahoué, farming environment, that the lowest amounts of Pb, Cd and As in water (2.67 ppm; 0.79 ppm and 277.3 ppm); the lowest levels of Pb and As (4.85 ppm; 105.75 ppm) in soil and the lowest amounts

of Cd and As (0.59 ppm; 248.16 ppm) in the

## CONCLUSION

Surface waters are an important resource in agriculture. Unfortunately, the one used on some gardening sites of Benin is contaminated by toxic metals from the air or soil. The results of this study revealed that when the soil is contaminated, so is the water in the soil and the vegetables or plants that grow there. It is difficult to clearly establish the link between contaminated soil, water and the sanitary quality of grown vegetables. But the study has helped to understand that the pollution of the market products has no borders. So, there is a risk of contamination in the food chain by heavy metals whose consumption through these gardening products could cause public health problems. Thus, the adoption of reasonable behaviour and the development of new technologies are needed to associate food security, economic development, the preservation of the environment and public health. vehicle traffic near the gardening sites in the city of Cotonou, the use of adulterated oil, the proximity of garbage dumps, and the presence in great number of craftsmen stalls which are toxic metals

contamination sources explain these results. Finally, it is possible to assess the health risk factors for people eating those vegetables. Indeed, the WHO recommends that the daily dose of cadmium supportable by an adult (DJA) is  $1\mu\text{g}/\text{kg}$  (Règlement CE/1881/2006). The average concentration of Cd in *Amarantus hybridus* on the Houéyiho site is 5.13 mg/kg (Table 4). The consumption of a minimum of 100 g of this vegetable by an adult of 65 kg weight is:  $5.13\text{ mg}/\text{kg} \times 0.100\text{ kg} = 0.51\text{ mg}$  or  $510\text{ }\mu\text{g}$  whereas the maximum that should be consumed is  $65\text{ }\mu\text{g}$ . So, there is a public health risk by consumption of the gardening products growing on this site.

## BIBLIOGRAPHY

Ablain F (2002). Rôle des activités

- lombriciennes sur la redistribution des éléments traces métalliques issus de boue de station d'épuration dans un sol agricole. Thèse de doctorat. Univ. de Rennes 1 UMREOBIO. Paris. 256p.
- Alva AK, Huang B and Paramasivam S (2000). Soil pH affects copper fractionation and phytotoxicity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 955-962.
- Anane R, Bonini M, Grafeille MJ, Creppy EE (1995). Bioaccumulation of water soluble aluminium chloride in the hippocampus after transdermal uptake in mice. *Arch. Toxicol.* 69: 568-571.
- Assogba F and Miguel V (1999). Agriculture urbaine et périurbaine à Cotonou, Bulletin de la recherche agronomique N°27.
- Assogba-Komlan F, Anihouvi P, Achigan E, Sikirou R, Boko A, Adje C, Ahle V, Vodouhe R, Assa A (2007). Pratiques culturales et teneur en éléments anti nutritionnels (nitrates et pesticides) du *Solanum macrocarpum* au sud du Bénin. *Afr. J. of Food Agriculture Nutrition and Development.* 7 (4). 21 p.
- Brümmer GW, Gerth J, Herms U (1986). Heavy metal species, mobility and availability in soils. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* (149): 382-398.
- Camobreco VJ, Richards BK, Steenhuis TS, Peverly JH, McBride MB (1996). Movement of heavy metals through undisturbed and homogenized soil columns. *Soil Science.* 161: 740-750.
- Compaoré E. and Nanéma LS. (2010). Compostage et qualité du compost de déchets urbains solides de la ville de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. *Tropicultura*, 28 (4) :232-237.
- Deluisa A, Giandon P, Aichner M, Bortolami P, Bruna L, Lupetti A, Nardelli F, Stringari G (1996). Copper pollution in italian vineyard soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* (27): 1537-1548.
- GESAMP 1982). Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution. The Health of the Oceans. Rep. Stud. GESAMP, (15): 108p.
- Gnandi K, Tchagnbedji G, Baba G, Killi K, Abbe K (2006). The Impact of Phosphate Mine Tailings on the Bioaccumulation of Heavy Metals in Marine Fish and Crustaceans from the Coastal Zone of Togo. *International Journal of Mine Water and Environment*, 25 (1): 56-62.
- Gong S, Yang XW, Li C, Heintz N (2002). Highly efficient modification of bacterial artificial chromosomes (BACs) using novel shuttle vectors containing the R6Kgamma origin of replication. *Genome Res.* (12): 1992-8.
- INERIS (2006). Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, Plomb et ses dérivés, version N° 3.
- Jaobi P, Amend J, Kiango S (2000) Urban agriculture in Dar es Salaam providing an indispensable part of the diet. In : Bakker N. *et al.*, Growing cities, growing food: urban agriculture on the policy agenda, a reader on urban agriculture. Feldafing, Allemagne, Des- Etc. 257-283.
- Luoma SN (1983). Bioavailability of trace metals to aquatic organisms - a review. *Sci. Total. Environ.* 28: 1-22.
- Martin MH et Bullock RJ (1994). The impact and fate of heavy metals in an oak wood-land ecosystem. In: Ross S.M. (Ed.), *Toxics metals in soil plant systems.* J. Wiley & sons, Chichester. pp. 327-365.
- Mench M, Amans V, Arrouays D, Didier-Sappin V, Fargues S, Gomez A, Löffler M, Masson P, Spiteri B, Weissenhorn I (1993).

- In situ remediation of soils contaminated by Pb fallout: (risk assessment near a lead tetra-ethyl production facility, and effectiveness of several inorganic compounds for decreasing Pb mobility and plant availability). ENV-SRAE. 61 p.
- Miquel G (2001). Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Rapport d'information N° 261 fait au nom de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques Sénat : Assemblée Nationale, Paris (France). 365p.
- Mougeot LJA (2000). Urban agriculture : definition, presence, potential and risks.
- Pitten FA, Müller G and König P (1997). Arsenakkumulation in Pflanzen. Abschlußbericht AP120/2. Greifswand, unveröffentlicht. 60 p.
- Règlement CE/466/2001 (2001). Fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires. Union Européenne.
- Richards BK, Steenhuis TS, Peverly JH, Mc Bride MB (1998). Metal mobility at an old, heavily loaded sludge application site. *Environmental pollution*, (99): 365- 377.
- Robert M and Juste C (1999). Enjeux environnementaux et industriels. Dynamique des éléments traces dans l'écosystème sol. In : Spéciation des métaux dans le sol, Les Cahiers du Club Crin, Paris, pp15-37.
- Simkiss K et Taylor MG (1995). Transport of Metals across Membranes. In Metal speciation and bioavailability in aquatic systems". A. Tessier et D. R. Turner, Wiley. 3: 2-39.
- Smit H (1998). Pollution prevention policies for agricultural soils in the Netherlands. Proc IIIrd Int. Conf. Biogeochem. Traces metals, May 1995, Paris in R. Prost ed., Contaminated soils, « les Colloques » 85, INRA, Editions, Paris (Livres + CD ROM).
- Tessier A and Turner DR (1995). Metal Speciation and Bioavailability in Aquatic Systems, vol. 3. John Wiley & Sons, Chichester. pp 609-646.
- Vaidya CO et Rantala TTR (1996). A comparative study of analytical methods determination of heavy metal in mussels (*Mytilus edulis*) from eastern Canada. *Int. Environ. Anal. Chemistry*. 63 (3): 179-185.
- Van Hook RI (1974). Cadmium, lead and zinc distributions between earthworms and soils: Potential for biological accumulation. *Bull Environ. Contamin.* 12: 509-512.
- Vulkan R, Mingelgrin U, Ben Asher J, Frenkel H (2002). Copper and zinc speciation in the solution of a soil-sludge mixture. *J. Environ. Qual*, 31: 193-203.
- Xian X (1989). Effect of chemical forms of cadmium, zinc and lead in polluted soils and their uptake by cabbage plants. *Plant and Soil*. 113: 257-264.

# Annexe 6 : Analyse des eaux de forage



**INSTITUT REGIONAL DU GENIE INDUSTRIEL  
DES BIOTECHNOLOGIES ET SCIENCES APPLIQUEES  
IRGIB-Africa – LABORATOIRES**

Agrément N°003 / MESRS / CAB / DC / SGM / DPP / SP / du 1<sup>er</sup> Février 2006  
Agrément N°2016 / MMEE / DC / SGM / CTREM / DGE / SA du 27 Juin 2007

Agrément MAEP 2007-2008 / DAGRI / DPECH

Adhérent COFRAC depuis 2007  
Certification FIIM N° 200202300 du 11 Février 2006

Membre d'un réseau d'essais circulaires et d'intercomparaison avec des laboratoires certifiés ISO 9001, EN 17025

**Demande d'Analyse :  
546/IRGIB/2011**

**Eau de forage**

**Expertises Analytiques**

**Demandeur : ELEGBEDE  
Manou Bernadin**

**Références de la demande :  
Date : 16 mars 2011  
Échantillon : 001**

Recherche et dosage par chromatographie en phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse

## Analyse de micro –polluants organiques

Détermination	Résultat
	mg/
2,4-DDD	0,007
2,4-DDE	0,001
2,4-DDT	0,004
4,4-DDD	0,009
4,4-DDE	0,008
4,4-DDT	0,004
Aldrine	0,007
Azinphos-ethyl	0,001
Azinphos-methyl	0,006
Bromophos	0,004
Bromophos-methyl	0,008
Carbophenothion	0,001
Chlorbenside	0,006
Chlorfenvinphos	0,004
Chlormephos	0,003
Chlorpyriphos ethyl	0,005
Chlorpyriphos-methyl	0,001
Chlorthiophos	0,006
Demeton-s-methyl-sulfone	0,009
Dialiphos	0,002
Diazinon	0,009
Dichlofenthion	0,001
Dichlorvos	0,004
Dicofol	0,004
Dieldrine	0,001
Diethion Dimethoate	0,006
Disulfoton	0,009
Ditalimfos	0,004
Edifenphos	0,006
Endosulfan alpha	0,001
Endosulfan beta	0,004
Endosulfan sulfate	0,001
Endrine	0,008
Ethoprophos	0,002
Etrimphos	0,005
Fenamiphos	0,004
Fenchlorphos	0,003
Fenitrothion	0,003
Fensulfathion	0,009

Préparation des échantillonnages.

Essais agroalimentaires

Analyse de combustibles liquides, solides, cokes, minerais, déchets, ciments, engrais, cendres et minéraux en vrac.

Analyses immuno enzymatiques

Microbiologiques

Screening, recherches et identification par PCR .et sondage génétique

Rapport aux clients selon notre charte de qualité.

Travaux d'expert et programme de formation.

Analyses agroalimentaires

Pharmacie – Chimie.

Préparation des échantillonnages.

Essais agroalimentaires

Analyse de combustibles liquides,  
solides, cokes, minerais, déchets,  
ciments, engrais, cendres et minéraux  
en vrac.

Analyses immuno enzymatiques

Microbiologiques

Screening, recherches et identification  
par PCR .et sondage génétique

Rapport aux clients selon notre charte  
de qualité.

Travaux d'expert et programme de  
formation.

Analyses agroalimentaires

Pharmacie – Chimie.

Fenthion	0,004
Fonofos	0,001
Formothion	0,006
HCH alpha	0,008
HCH beta	0,002
Heptachlor	0,004
Heptachlor epoxy a	0,002
Heptachlor epoxy b	0,006
Hexachlorobenzene (HCB)	0,006
Iodofenphos	0,008
Isofenphos	0,001
Lindane (gamma HCH)	0,005
Malathion	0,004
Mecarbam	0,004
Methidation	0,001
Mevinphos	0,005
Omethoate	0,004
Parathion	0,001
Parathion-methyl	0,006
Pentachloroaniline	0,009
Phorate	0,006
Phosalone	0,005
Phosmet	0,008
Phosphamidon	0,006
Profenofos	0,001
Propetamphos	0,004
Pyrazophos	0,009
Pyridafenthion	0,001
Pyrimiphos ethyl	0,001
Pyrimiphos methyl	0,009
Quinalphos	0,001
Quintozene (PCNB)	0,005
Sulfotep	0,005
Tecnazène	0,004
Terbufos	0,008
Thiometon	0,006
Triazophos	0,004

l'Analyste



Signatures autorisées et cachets

Ir PhD-HDR Virgile AHYI  
Directeur du Laboratoire

Délais : IRGIB-Africa garantit un délai minimal pour la réalisat



**INSTITUT REGIONAL DU GENIE INDUSTRIEL  
DES BIOTECHNOLOGIES ET SCIENCES APPLIQUEES  
IRGIB-Africa – LABORATOIRES**

Agrément N°003 / MESRS / CAB / DC / SGM / DPP / SP / du 1<sup>er</sup> Février 2006

Agrément N°2016 / MMEE / DC / SGM / CTREM / DGE / SA du 27 Juin 2007

Agrément MAEP 2007-2008 / DAGRI/ DPECH

Adhérent COFRAC depuis 2007

Certification FIHM N° 200202300 du 11 Février 2006

Membre d'un réseau d'essais circulaires et d'intercomparaison avec des laboratoires certifiés ISO 9001, EN 17025

**Demande d'Analyse :**  
**547/IRGIB/2011**

**Eau de forage**

**Expertises Analytiques**

**Demandeur : ELEGBEDE  
Manou Bernadin**

**Références de la demande :**  
**Date : 17 mars 2011**  
**Échantillon : 009**

Recherche et dosage par chromatographie en phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse

**Analyse de micro –polluants organiques**

Détermination	Résultat
	mg/
2,4-DDD	0,001
2,4-DDE	0,004
2,4-DDT	0,006
4,4-DDD	0,001
4,4-DDE	0,006
4,4-DDT	0,004
Aldrine	0,006
Azinphos-ethyl	0,004
Azinphos-methyl	0,009
Bromophos	0,004
Bromophos-methyl	0,001
Carbophenothion	0,006
Chlorbenside	0,008
Chlorfenvinphos	0,002
Chlormephos	0,004
Chlorpyriphos ethyl	0,002
Chlorpyriphos-methyl	0,006
Chlorthiophos	0,006
Demeton-s-methyl-sulfone	0,008
Dialiphos	0,005
Diazinon	0,005
Dichlofenthion	0,004
Dichlorvos	0,004
Dicofol	0,001
Dieldrine	0,005
Diethion Dimethoate	0,004
Disulfoton	0,001
Ditalimfos	0,006
Edifenphos	0,009
Endosulfan alpha	0,006
Endosulfan beta	0,005
Endosulfan sulfate	0,008
Endrine	0,006
Ethoprophos	0,001
Etrimphos	0,004
Fenamiphos	0,009
Fenclorphos	0,001
Fenitrothion	0,001
Fensulfothion	0,009

Préparation des échantillonnages.

Essais agroalimentaires

Analyse de combustibles liquides,  
solides, cokes, minerais, déchets,  
ciments, engrais, cendres et minéraux  
en vrac.

Analyses immuno enzymatiques

Microbiologiques

Screening, recherches et identification  
par PCR .et sondage génétique

Rapport aux clients selon notre charte  
de qualité.

Travaux d'expert et programme de  
formation.

Analyses agroalimentaires

Pharmacie – Chimie.

Préparation des échantillonnages.

Essais agroalimentaires

Analyse de combustibles liquides,  
solides, cokes, minerais, déchets,  
ciments, engrais, cendres et minéraux  
en vrac.

Analyses immuno enzymatiques

Microbiologiques

Screening, recherches et identification  
par PCR .et sondage génétique

Rapport aux clients selon notre charte  
de qualité.

Travaux d'expert et programme de  
formation.

Analyses agroalimentaires

Pharmacie – Chimie.

Fenthion	0,004
Fonofos	0,001
Formothion	0,006
HCH alpha	0,008
HCH beta	0,002
Heptachlor	0,004
Heptachlor epoxy a	0,002
Heptachlor epoxy b	0,006
Hexachlorobenzene (HCB)	0,006
Iodofenphos	0,008
Isofenphos	0,005
Lindane (gamma HCH)	0,005
Malathion	0,004
Mecarbam	0,004
Methidation	0,001
Mevinphos	0,005
Omethoate	0,004
Parathion	0,001
Parathion-methyl	0,006
Pentachloroaniline	0,009
Phorate	0,006
Phosalone	0,005
Phosmet	0,008
Phosphamidon	0,006
Profenofos	0,001
Propetamphos	0,004
Pyrazophos	0,009
Pyridafenthion	0,001
Pyrimiphos ethyl	0,001
Pyrimiphos methyl	0,009
Quinalphos	0,001
Quintozene (PCNB)	0,005
Sulfotep	0,008
Tecnazène	0,004
Terbufos	0,008
Thiometon	0,006
Triazophos	0,007

Délais : IRGIB-Africa garantit un délai minimal pour la réalisat

l'Analyste

Signature autorisée et cachets

Ir PhD-HDR Virgile AHYI  
Directeur du Laboratoire

LABORATOIRE IRGIB-AFRICA  
97 14 82 50  
21 38 59 08  
Cotonou

tion des travaux, de ... respect intégral des normes précitées.



**INSTITUT REGIONAL DU GENIE INDUSTRIEL  
DES BIOTECHNOLOGIES ET SCIENCES APPLIQUEES  
IRGIB-Africa – LABORATOIRES**

Agrément N°003 / MESRS / CAB / DC / SGM / DPP / SP / du 1<sup>er</sup> Février 2006

Agrément N°2016 / MMEE / DC / SGM / CTREM / DGE / SA du 27 Juin 2007

Agrément MAEP 2007-2008 / DAGRI/ DPECH

Adhérent COFRAC depuis 2007

Certification FIHM N° 200202300 du 11 Février 2006

Membre d'un réseau d'essais circulaires et d'intercomparaison avec des laboratoires certifiés ISO 9001, EN 17025

**Demande d'Analyse :**

**548/IRGIB/2011**

**Eau de forage**

**Expertises Analytiques**

**Demandeur : ELEGBEDE  
Manou Bernadin**

**Références de la demande :**

**Date : 21 mars 2011**

**Échantillon : 010**

Recherche et dosage par chromatographie en phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse

**Analyse de micro –polluants organiques**

Détermination	Résultat
	mg/
2,4-DDD	0,005
2,4-DDE	0,002
2,4-DDT	0,003
4,4-DDD	0,009
4,4-DDE	0,004
4,4-DDT	0,006
Aldrine	0,006
Azinphos-ethyl	0,001
Azinphos-methyl	0,008
Bromophos	0,002
Bromophos-methyl	0,009
Carbophenothion	0,004
Chlorbenside	0,005
Chlorfenvinphos	0,006
Chlormephos	0,004
Chlorpyriphos ethyl	0,008
Chlorpyriphos-methyl	0,002
Chlorthiophos	0,005
Demeton-s-methyl-sulfone	0,004
Dialiphos	0,006
Diazinon	0,007
Dichlofenthion	0,009
Dichlorvos	0,002
Dicofol	0,004
Dieldrine	0,001
Diethion Dimethoate	0,006
Disulfoton	0,009
Ditalimfos	0,004
Edifenphos	0,006
Endosulfan alpha	0,001
Endosulfan beta	0,004
Endosulfan sulfate	0,001
Endrine	0,004
Ethoprophos	0,002
Etrimphos	0,001
Fenamiphos	0,004
Fenchlorphos	0,001
Fenitrothion	0,004
Fensulfothion	0,008

Préparation des échantillonnages.

Essais agroalimentaires

Analyse de combustibles liquides,  
solides, cokes, minerais, déchets,  
ciments, engrais, cendres et minéraux  
en vrac.

Analyses immuno enzymatiques

Microbiologiques

Screening, recherches et identification  
par PCR .et sondage génétique

Rapport aux clients selon notre charte  
de qualité.

Travaux d'expert et programme de  
formation.

Analyses agroalimentaires

Pharmacie – Chimie.



Préparation des échantillonnages.

Essais agroalimentaires

Analyse de combustibles liquides,  
solides, cokes, minerais, déchets,  
ciments, engrais, cendres et minéraux  
en vrac.

Analyses immuno enzymatiques

Microbiologiques

Screening, recherches et identification  
par PCR .et sondage génétique

Rapport aux clients selon notre charte  
de qualité.

Travaux d'expert et programme de  
formation.

Analyses agroalimentaires

Pharmacie – Chimie.

Fenthion	0,007
Fonofos	0,001
Formothion	0,005
HCH alpha	0,004
HCH beta	0,004
Heptachlor	0,008
Heptachlor epoxy a	0,005
Heptachlor epoxy b	0,006
Hexachlorobenzene (HCB)	0,001
Iodofenphos	0,005
Isofenphos	0,004
Lindane (gamma HCH)	0,006
Malathion	0,007
Mecarbam	0,009
Methidation	0,001
Mevinphos	0,006
Omethoate	0,008
Parathion	0,002
Parathion-methyl	0,006
Pentachloroaniline	0,004
Phorate	0,009
Phosalone	0,005
Phosmet	0,008
Phosphamidon	0,008
Profenofos	0,001
Propetamphos	0,004
Pyrazophos	0,004
Pyridafenthion	0,008
Pyrimiphos ethyl	0,004
Pyrimiphos methyl	0,006
Quinalphos	0,007
Quintozene (PCNB)	0,006
Sulfotep	0,001
Tecnazène	0,004
Terbufos	0,005
Thiometon	0,001
Triazophos	0,006

l'Analyste

97 14 82 50  
21 38 59 08

LABORATOIRE IRGIB-AFRICA  
Cotonou

Signatures autorisées et cachets

Ir PhD-HDR Virgile AHVI  
Directeur du Laboratoire

Délais : IRGIB-Africa garantit un délai minimal pour la réalisation des travaux, dans le respect intégral des normes précitées.

07 BP 231 Tél/ Fax (+229) 21 30 55 98 / 90 91 15 99 / 21 04 60 51 / 90 01 68 92

Site web: [www.irgib-africa.com](http://www.irgib-africa.com) Email: [contacts@irgib-africa.com](mailto:contacts@irgib-africa.com)



**INSTITUT REGIONAL DU GENIE INDUSTRIEL  
DES BIOTECHNOLOGIES ET SCIENCES APPLIQUEES  
IRGIB-Africa – LABORATOIRES**

Agrément N°003 / MESRS / CAB / DC / SGM / DPP / SP / du 1<sup>er</sup> Février 2006

Agrément N°2016 / MMEE / DC / SGM / CTREM / DGE / SA du 27 Juin 2007

Agrément MAEP 2007-2008 / DAGRI/ DPECH

Adhérent COFRAC depuis 2007

Certification FIIM N° 200202300 du 11 Février 2006

Membre d'un réseau d'essais circulaires et d'intercomparaison avec des laboratoires certifiés ISO 9001, EN 17025

**Demande d'Analyse :**

**549/IRGIB/2011**

**Eau de forage**

**Expertises Analytiques**

**Demandeur : ELEGBEDE  
Manou Bernadin**

**Références de la demande :**

**Date : 21 mars 2011**

**Échantillon : 014**

Recherche et dosage par chromatographie en phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse

**Analyse de micro-polluants organiques**

Détermination	Résultat
	mg/
2,4-DDD	0,004
2,4-DDE	0,006
2,4-DDT	0,002
4,4-DDD	0,006
4,4-DDE	0,001
4,4-DDT	0,004
Aldrine	0,009
Azinphos-ethyl	0,001
Azinphos-methyl	0,005
Bromophos	0,004
Bromophos-methyl	0,008
Carbophenothion	0,001
Chlorbenside	0,006
Chlorfenvinphos	0,004
Chlormephos	0,003
Chlorpyriphos ethyl	0,005
Chlorpyriphos-methyl	0,001
Chlorthiophos	0,006
Demeton-s-methyl-sulfone	0,009
Dialiphos	0,002
Diazinon	0,009
Dichlofenthion	0,001
Dichlorvos	0,004
Dicofol	0,004
Dieldrine	0,001
Diethion Dimethoate	0,006
Disulfoton	0,009
Ditalimfos	0,004
Edifenphos	0,006
Endosulfan alpha	0,001
Endosulfan beta	0,004
Endosulfan sulfate	0,001
Endrine	0,008
Ethoprophos	0,002
Etrimphos	0,005
Fenamiphos	0,004
Fenchlorphos	0,003
Fenitrothion	0,003
Fensulfothion	0,009

Préparation des échantillonnages.

Essais agroalimentaires

Analyse de combustibles liquides,  
solides, cokes, minerais, déchets,  
ciments, engrais, cendres et minéraux  
en vrac.

Analyses immuno enzymatiques

Microbiologiques

Screening, recherches et identification  
par PCR .et sondage génétique

Rapport aux clients selon notre charte  
de qualité.

Travaux d'expert et programme de  
formation.

Analyses agroalimentaires

Pharmacie – Chimie.

Préparation des échantillonnages.

Essais agroalimentaires

Analyse de combustibles liquides,  
solides, coques, minerais, déchets,  
ciments, engrais, cendres et minéraux  
en vrac.

Analyses immuno enzymatiques

Microbiologiques

Screening, recherches et identification  
par PCR .et sondage génétique

Rapport aux clients selon notre charte  
de qualité.

Travaux d'expert et programme de  
formation.

Analyses agroalimentaires

Pharmacie – Chimie.

Fenthion	0,004
Fonofos	0,001
Formothion	0,006
HCH alpha	0,008
HCH beta	0,002
Heptachlor	0,004
Heptachlor epoxy a	0,002
Heptachlor epoxy b	0,006
Hexachlorobenzene (HCB)	0,006
Iodofenphos	0,008
Isofenphos	0,001
Lindane (gamma HCH)	0,005
Malathion	0,004
Mecarbam	0,004
Methidation	0,001
Mevinphos	0,005
Omethoate	0,004
Parathion	0,001
Parathion-methyl	0,006
Pentachloroaniline	0,009
Phorate	0,006
Phosalone	0,005
Phosmet	0,008
Phosphamidon	0,006
Profenofos	0,001
Propetamphos	0,004
Pyrazophos	0,009
Pyridafenthion	0,001
Pyrimiphos ethyl	0,001
Pyrimiphos methyl	0,009
Quinalphos	0,001
Quintozene (PCNB)	0,005
Sulfotep	0,005
Tecnazène	0,004
Terbufos	0,008
Thiometon	0,006
Triazophos	0,004

l'Analyste



Signatures autorisées et cachets

Ir PhD-HDR Virgile AHYI  
Directeur du Laboratoire

Délais : IRGIB-Africa garantit un délai minimal pour la réalisat

tion des travaux, de respecter l'intégrité et l'aspect intégral des normes précitées.

07 BP 231 Tél/ Fax (+229) 21 30 55 98 / 90 91 15 99 / 21 04 60 51 / 90 01 68 92

Site web: [www.irgib-africa.com](http://www.irgib-africa.com) Email: [contacts@irgib-africa.com](mailto:contacts@irgib-africa.com)



**INSTITUT REGIONAL DU GENIE INDUSTRIEL  
DES BIOTECHNOLOGIES ET SCIENCES APPLIQUEES  
IRGIB-Africa – LABORATOIRES**

Agrément N°003 / MESRS / CAB / DC / SGM / DPP / SP / du 1<sup>er</sup> Février 2006

Agrément N°2016 / MMEE / DC / SGM / CTREM / DGE / SA du 27 Juin 2007

Agrément MAEP 2007-2008 / DAGRI/ DPECH

Adhérent COFRAC depuis 2007

Certification FIIM N° 200202300 du 11 Février 2006

Membre d'un réseau d'essais circulaires et d'intercomparaison avec des laboratoires certifiés ISO 9001, EN 17025

**Demande d'Analyse :**  
**550/IRGIB/2011**

**Eau de forage**

**Expertises Analytiques**

**Demandeur : ELEGBEDE  
Manou Bernadin**

**Références de la demande :**  
**Date : 16 mars 2011**  
**Échantillon : 016**

Recherche et dosage par chromatographie en phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse

**Analyse de micro –polluants organiques**

Détermination	Résultat
	mg/
2,4-DDD	0,003
2,4-DDE	0,009
2,4-DDT	0,004
4,4-DDD	0,006
4,4-DDE	0,006
4,4-DDT	0,001
Aldrine	0,008
Azinphos-ethyl	0,002
Azinphos-methyl	0,009
Bromophos	0,004
Bromophos-methyl	0,005
Carbophenothion	0,006
Chlorbenside	0,004
Chlorfenvinphos	0,008
Chlormephos	0,002
Chlorpyriphos ethyl	0,005
Chlorpyriphos-methyl	0,004
Chlorthiophos	0,006
Demeton-s-methyl-sulfone	0,007
Dialiphos	0,009
Diazinon	0,002
Dichlofenthion	0,004
Dichlorvos	0,001
Dicofol	0,006
Dieldrine	0,009
Diethion Dimethoate	0,004
Disulfoton	0,006
Ditalimfos	0,001
Edifenphos	0,004
Endosulfan alpha	0,001
Endosulfan beta	0,004
Endosulfan sulfate	0,002
Endrine	0,001
Ethoprophos	0,008
Etrimphos	0,002
Fenamiphos	0,004
Fenchlorphos	0,002
Fenitrothion	0,006
Fensulfathion	0,006
Fenthion	0,008
Fonofos	0,001

Préparation des échantillonnages.

Essais agroalimentaires

Analyse de combustibles liquides,  
solides, coques, minerais, déchets,  
ciments, engrais, cendres et minéraux  
en vrac.

Analyses immuno enzymatiques

Microbiologiques

Screening, recherches et identification  
par PCR .et sondage génétique

Rapport aux clients selon notre charte  
de qualité.

Travaux d'expert et programme de  
formation.

Analyses agroalimentaires

Pharmacie – Chimie.

Préparation des échantillonnages.

Essais agroalimentaires

Analyse de combustibles  
liquides, solides, cokes, minerais,  
déchets, ciments, engrais, cendres  
et minéraux

en  
vrac.

Analyses immuno enzymatiques

Microbiologiques

Screening, recherches et  
identification par PCR .et  
sondage génétique

Rapport aux clients selon notre

charte

de qualité.

Travaux d'expert et  
programme  
de  
formation.

Analyses agroalimentaires

Pharmacie – Chimie.

Formothion	0,004
HCH alpha	0,006
HCH beta	0,002
Heptachlor	0,006
Heptachlor epoxy a	0,001
Heptachlor epoxy b	0,004
Hexachlorobenzene (HCB)	0,009
Iodofenphos	0,001
Isofenphos	0,005
Lindane (gamma HCH)	0,004
Malathion	0,008
Mecarbam	0,001
Methidation	0,006
Mevinphos	0,004
Omethoate	0,003
Parathion	0,005
Parathion-methyl	0,001
Pentachloroaniline	0,006
Phorate	0,009
Phosalone	0,002
Phosmet	0,009
Phosphamidon	0,001
Profenofos	0,004
Propetamphos	0,004
Pyrazophos	0,001
Pyridafenthion	0,006
Pyrimiphos ethyl	0,009
Pyrimiphos methyl	0,001
Quinalphos	0,006
Quintozene (PCNB)	0,004
Sulfotep	0,003
Tecnazène	0,005
Terbufos	0,001
Thiometon	0,006
Triazophos	0,009

L'Analyste

Signature autorisée et cachets

Ir PhD-HDR Virgile AHYI  
Directeur du Laboratoire

LABORATOIRE IRGIB-AFRICA  
97 14 82 50  
21 38 59 08  
Cotonou

tion des travaux. de respect intégral des normes précitées.

**Délais : IRGIB-Africa garantit un délai minimal pour la réalisation,** de même que le respect intégral des normes précitées.

07 BP 231 Tél/ Fax (+229) 21 30 55 98 / 90 91 15 99 / 21 04 60 51 / 90 01 68 92

Site web: [www.irgib-africa.com](http://www.irgib-africa.com) Email: [contacts@irgib-africa.com](mailto:contacts@irgib-africa.com)

**Annexe 7 : Compte rendu d'analyse à l'Hôpital de Zone d'Abomey-Calavi/Sô-Ava**



**HOPITAL DE ZONE  
D'ABOMEY-CALAVI/SO-AVA**  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
**LABORATOIRE D'ANALYSES BIO-MEDICALES**

**Demandeur : ELEGBEDE Bernadin**

<b>COMPTES RENDUS D'ANALYSES</b>					
VN	UREMIE	CREATINEMIE	TRANSAMINASES TGP	CHOLESTEROL TOTAL	CALCIUM URINAIRE
	0,15 à 0,45 g/L	6 à 14 mg/L	inf à 49 g/L	inf à 2 g/L	150 à 250 mg/L
N°001	0,19	13,2	12,3	1,72	46,2
N°002	0,16	12,2	19,2	1,32	29,4
N°003	0,30	15,8	21,2	1,42	99,2
N°004	0,26	16,1	19,8	1,25	51,1
N°012	0,42	12,0	30,2	2,39	26,2
N°013	0,27	13,2	25,4	1,79	-
N°014	0,23	10,0	20,2	2,48	21,4
N°015	0,27	3,4	12,0	3,12	54,2
N°016	0,18	10,4	13,4	3,71	90,1
N°017	0,24	10,0	12,0	3,02	59,5
N°018	0,20	10,0	27,0	3,21	29,4
N°019	0,27	12,2	29,8	1,86	28,4
N°020	0,30	13,6	22,7	1,34	30,0
N°021	0,26	12,3	24,2	1,43	36,2
N°022	0,21	11,8	10,0	1,56	99,2
N°023	0,31	11,7	28,4	1,02	51,8
N°024	0,27	14,0	30,0	1,00	26,2
N°025	0,20	10,4	36,2	1,89	92,2
N°026	0,16	11,2	16,0	1,46	51,4
N°027	0,17	13,2	12,0	1,47	26,3
N°028	0,19	13,2	49,0	1,24	91,7
N°029	0,16	13,8	34,3	0,98	56,2
N°030	0,17	14,4	15,7	1,09	31,1
N°031	0,24	11,0	17,8	1,72	31,1
N°032	0,22	7,6	22,3	0,99	91,1
N°033	0,13	9,6	12,6	0,89	56,2
N°034	0,37	12,2	12,3	1,02	31,1
N°035	0,22	13,9	40,2	1,26	76,2
N°036	0,30	12,0	22,1	1,34	81,1
N°037	0,20	13,2	12,3	1,11	93,1
N°038	0,22	12,2	16,4	1,09	66,2
N°039	0,28	12,0	48,0	1,04	55,1

Délais : IRGIB-Africa garantit un délai minimal pour la réalisation des travaux de même que le respect intégral des normes précitées.

07 BP 231 Tél/ Fax (+229) 21 30 55 98 / 90 91 15 99 / 21 04 60 51 / 90 01 68 92  
Site web: [www.irgib-africa.com](http://www.irgib-africa.com) Email: [contacts@irgib-africa.com](mailto:contacts@irgib-africa.com)

## Annexe 8: Caractéristiques physico- chimiques de l'eau de forages, de puits, du fleuve et coordonnées GPS des ouvrages

N°	Arrondissements	Villages	Localité	X (E)	Y(N)	pH	°C	Cond	Turbidité	Pb	Zn	Cu	Cd	Ni	Fer Total
1	Eau de Kossou- Brignamaro	Kossou	Kossou- Nord	2°02'18.1	10°37'30.4	6,96	26,5	342	0	-0,0036	-0,0326C	-0,0125C	-	0,0034	0,0410U
2		Kossou	Kossou- Sud	2°02'27.2''	10°37'02.8''	7,31	26,8	414	0	-0,0325	-0,0313C	-0,0072	-	-0,0150	-0,0497U
3		Ouinra	Ouinra- Centre	2°03'42.7''	10°37'30.4''	6,56	29,5	141	1	-0,0325	-0,0208C	-0,0188C	-	-0,0066	-0,1166CU
4		Kossou	CCS	2°03'50.7''	10°37'27.2''	5,82	29,7	420	6	0,0048	-0,0344C	-0,0050	-	0,0258C	0,0510U
5	Eau de Kérou	Wohoré	Puit du CV	2°10'202''	10°54'05.8''	6,08	29,4	340	2	0,0089 C	-0,0273C	-0,0036	-	0,0159C	0,01102CU
6		Wohoré	Ganboré	2°10'202''	10°54'18.7''	6,83	30	263	8	0,0167	0,0354C	0,0122C	0,0234C	0,0202C	0,0844CU
7		Gantodo	Centre	2°9' 52.0''	10°53'11.00'	6,25	30,5	506	10	-0,0103	-0,0308C	-0,0148C	-	0,0189C	0,0548U
8		Wohoré	Gantodo EPP	2°9' 45.0''	10°53'00.4''	6,37	31,8	152	2	0,0079 C	-0,0327C	-0,00239C	-	-0,0194C	-0,0961CU
9		Wohoré	Toundagou	2°7' 34.5''	10°50'37.6''	6,3	30,8	209		0,0613 C	-0,0364C	-0,0247C	-	0,0077C	0,0386U
10		Kérou	Ferme Gérant	2°01' 9.4''	10°52'53.9''	6,01	33	136		0,0394	-0,0337C	-0,0177C	-	-	-0,0229U
11		Firou	CS-Puits	01°56' 43.7''	10°55'00.1''	6,45	33	193		0,0263	-0,0275C	-0,0141C	-	0,0071C	-0,0546U
12		Firou	Firou marché	01°56' 37.6''	10°54'53.4''	7,76	30	540		- 0,0177 C	-0,0352C	-0,0209C	-	0,0170C	0,0443U
13		Firou	Camp peul -EPP	01°57' 58.4''	10°54'12.8''	6,9	31,8	301		- 0,0442 C	-0,0382C	-0,0242C	-	-	0,1493U
14		Firou	Marékpo	02°00' 18.8''	10°53'32.7''	6,9	30,7	320		- 0,0332 C	-0,0280C	-0,0267C	-	-	-0,01538CU
15		Kérou	Boni	02°02' 35.3''	10°52'07.4''	6,99	30,1	440		- 0,0120 C	-0,0339C	-0,0285C	-	0,0115C	0,0887U
16		Kérou	Mekrou- fleuve	02°02' 54.2''	10°51'42.4''	7,6	25	54		0,0604	-0, 0359C	-0, 0192C	-0, 0272C	0, 0040	1, 4341U
17	Briganmaro	Konigouro	02°04'	10°45'57.4''	7,1	29	180		0,098	0,0260C	0,0270C	0,0244C	0,0334C	0,1789CU	

			u Centre	13.9''											
18		Briganmaro	Bérékossou	02°03' 54.5''	10°37'28.7''	7,2	30	166		- 0,0478 C	-0,0247C	-0,0228C	- 0,0227C	0,0425C	0,0716CU
19		Briganmaro	Banbaba	02°05' 16.4''	10°05'12.5''	6,7	29,7	189		- 0,0306 C	-0,0360C	-0,0263C	- 0,0235C	-0,0328	-0,0633U
20		Briganmaro	Wodora	02°04' 32.2''	10°33'32.7''	7,1	30,1	190		- 0,0377 C	-0,0319C	-0,0171C	- 0,0261C	0,0100	0,0556U
21		Briganmaro	Boukaro	02°03' 32.1''	10°32'09.8''	6,69	29,7	421		- 0,0411 C	-0,0411C	-0,0191C	- 0,0219C	-0,0141	-0,0629U



## Annexe 9 : Tests statistiques pour la distribution des teneurs de plomb

- **Test de Shapiro-Wilk**

Variable	Obs	W	V	Z	Prob>z
Mesure_1	7	0.91920	1.061	0.092	0.46321
Mesure_2	7	0.91920	1.061	0.092	0.46321

- **Test de Student des données appariées**

Variable	Obs	Mean	Std. Err.	Std. Dev.	[95% Conf. Interval]
Mesure_1	7	.0402143	.0129433	.0342448	.0085431 .0718854
Mesure_2	7	.0422143	.0129433	.0342448	.0105431 .0738854
Diff	7	-.002	6.57e-10	1.74e-09	-.002 -.002

Mean (diff) = mean (mesure\_1 - mesure\_2)       $t = -3.0e+06$

Ho: mean (diff) = 0      degrees of freedom = 6

Ha: mean (diff) < 0      Ha: mean (diff) != 0      Ha: mean (diff) > 0

Pr (T < t) = 0.0000      Pr (|T| > |t|) = 0.0000      Pr (T > t) = 1.0000

- **Test de Shapiro-Wilk des deux séries**

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
Mesure_1	14	0.61642	7.099	3.859	0.00006
Mesure_2	14	0.61642	7.099	3.859	0.00006

- **Résultats du test de Wilcoxon**

- **Tableau statistique**

Stats	mesure_1	mesure_2
N	14	14
Mean	-.1316	-.1306

- **Test de Wilcoxon**

Sign	obs	sum ranks	expected
Positive	0	0	52.5
Negative	14	105	52.5
Zero	0	0	0
All	14	105	105

Unadjusted variance      253.75

Adjustment for ties      -11.00

Adjustment for zeros      0.00

Adjusted variance      242.75

Ho: mesure\_1 = mesure\_2

$z = -3.370$

Prob > |z| = 0.0008

## Annexe 10 : Questionnaire d'enquête

### REPUBLIQUE DU BENIN

\*\*\*\*\*

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR, DE  
LA FORMATION PROFESSIONNELLE ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI  
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES

«Contraintes agricoles et impacts sanitaires liés à la pollution de l'eau par les bactéries, les métaux toxiques, et les pesticides dans le bassin du Niger : Cas de la commune Kérou (Bénin) ».



#### Enquête de Terrain

(Les renseignements contenus dans ce questionnaire ne sont fournis que dans le cadre de la recherche ; ils ne peuvent donc être publiés que sous forme anonyme.)

Code identifiant.....

Nom du superviseur : Patrick A EDORH, Professeur à  
L'Université d'Abomey-Calavi

Nom de l'enquêteur : Bernadin MANOU ELEGBEDE, Doctorant

Date de l'enquête.....

#### I. IDENTIFICATION .....

Q1.1 : Nom et Prénom:.....

Q1.2 : Village : .....

Q1.3 : Depuis : .....

Q1.4 : Travail du répondant.....

Q1.5 : Sexe.....

1. Masculin 2. Féminin

Q1.6 :  
Age.....

Q1.7 : Poids.....

**Q1.8 : Profession/ Qualification d'origine**

1. Agriculteur 2. Ménagère 3. Ouvrier 4. Enseignant 5. Infirmière 6. Sage-femme 7. Médecin 8. Commerçant 9. Ingénieur 10. Secrétaire 11. Elève ou Etudiant 12. Autre fonctionnaire 13. Employé du privé 14. Sans emploi 15. Artisan 16. Autre

**Q1.9** Venu au centre de santé pour.....

**Q1.10** Habitude alimentaire.....

- 1) Quelle eau buvez-vous ? : .....
- 2) Quelle quantité/j ? .....
- 3) Fumez-vous ?.....
- 4) Mangez-vous beaucoup de fruit acide (orange, citron) ?
- 5) Mangez-vous beaucoup d'ails ?.....
- 6) Quand aviez vous pris des comprimés de vitamine C pour la dernière fois ?

**Q1.11** Souffrez vous de maladie ci-dessous ?

- 1) Utilisez-vous de pesticides, d'engrais dans vos champs ?.....
- 2) Restez-vous en contact permanent avec des pesticides lors travaux champêtres ?
  - 1) Pour quels motifs et pour quels types de cultures utilisez –vous les engrais et pesticides ?.....
  - 3) Saviez que ces produits sont toxiques, donc dangereux pour la santé humaine pou et pour l'environnement ?
  - 4) Dans le cadre de la recherche ? Autorisez-vous l'équipe à prélever votre sang ou votre urine pour des besoins d'analyse dans le respect de l'éthique?

**Maladie aluminium** : anémie perte d'appétit, rhume, colite, constipation, démence, bouche sèche ; peau sèche, transpiration excessive, brûlure d'estomac, perte de mémoire, ostéoporose, paralysie, sénilité, problème de peau.....

**Maladie du cadmium** : anémie, maladie des os, diabète trouble digestifs, trouble de croissance, maux de tête, un taux élevé de cholestérol hypertension hypoglycémie impuissance, stérilité, maladie rénale.....

**Maladie du plomb** : douleurs Abdominales, anémie, anorexie, anxiété, problème des os, la cécité, les maladies cardiovasculaires, perte de coordination, perte de concentration, constipation, surdité, la dépression, épilepsie, la fatigue, goutte, les l'hypertension, insomnie, problèmes menstruels, nausées, cauchemars, mort-nés, la mort subite du nourrisson, la carie dentaire ; vertige, pertes de poids involontaires Hallucinations, les maux de tête, à l'hostilité, l'hyperactivité.....

Prendre des données sur ces maladies si disponibles dans les centres de santé.

# TABLE DES MATIERES

Dédicace.....	iv
Avant propos.....	v
Liste des sigles et abréviations.....	x
Liste des tableaux .....	xii
Liste des figures .....	xii
Liste des photos.....	xiii
Résumé .....	xiv
Summary .....	xv
INTRODUCTION .....	1
Cadre conceptuel et organisation du document .....	2
CHAPITRE 1 : CADRE THEORIQUE ET GENERALITES .....	4
1-1 Cadre théorique .....	5
1-1-1 Problématique .....	5
1-1-2 Justification.....	8
1-1-3 Objectifs.....	10
1-1-3-1 Objectif général .....	10
1-1-3-2 Objectifs spécifiques .....	11
1-1-4 Hypothèses.....	11
1-2 Généralités .....	11
1.2.1. L'eau : un enjeu mondial.....	12
1.2.2 Caractérisations .....	13
1.2.3. Ressources en eau souterraine : aquifères et nappes .....	14
1.2.3.1 Les aquifères.....	14
1.2.3.2. Les types de nappes et caractéristiques hydrologiques.....	15
1.2.3.2.1. Porosité efficace et coefficient d'emménagement .....	15
1.2. 3.2.2. Paramètres hydrodynamiques.....	15
1.2.3.2.3. Perméabilité .....	16
1.2.3.2.4 Transmissivité .....	16
1.2.3.2.5 Vitesses d'écoulement.....	17
1.2.3.2.6 Sensibilité et mécanismes de pollution des nappes .....	17
1.2.3.2.6.1 <i>Caractéristiques d'une nappe libre</i> .....	17
1.2.3.2.6. 2 <i>Caractéristique d'une nappe captive</i> .....	18
1.2.3.2.6.3 <i>Particularité d'un aquifère fissuré</i> .....	18
<b>1.2.4. Cotonculture : contraintes et risques associés</b> .....	19
1.2.4.1. Importance de la culture du coton au Bénin.....	19
1.2.4.2 Usages des produits phytosanitaires et risques pour la santé .....	20

1.2.5. Caractères généraux des métaux lourds et des pesticides : les concepts de base...	22
1.2.5.1. Métaux lourds.....	23
1.2.5.1.1. Définition.....	23
1.2.5.1.2. Origines .....	23
1.2.5.1.3. Voies de contamination de l'Homme .....	25
1.2.5.1.3.1 Absorption par voie respiratoire .....	25
1.2.5.1.3.2 Absorption par voie orale : contamination de la chaîne alimentaire.....	25
1.2.5.1.4. Mécanisme d'action des métaux lourds et dangerosité .....	28
1.2.5.1.5. Effets des métaux lourds sur la santé humaine.....	29
1.2.5.1.5.1. Le cadmium .....	29
1.2.5.1.5.2. Le plomb.....	31
1.2.5.1.5.3 Le zinc.....	36
1.2.5.1.5.4 Le nickel.....	37
1.2.5.1.5.5. Le cuivre .....	37
1.2.5.1.6. Ambivalence de l'intoxication par les métaux toxiques.....	39
1.2.5.2 Pesticides.....	40
1.2.5.2.1. Définition et origines.....	40
1.2.5.2.2. Voies de contamination de l'Homme .....	40
1.2.5.2.3. Les pesticides dans l'environnement.....	42
1.2.5.2.4 Effets de certains pesticides sur la santé humaine.....	44
1.2.6. Evaluation des risques liés aux xénobiotiques : la toxicologie réglementaire .....	45
1.2.6.1 Concepts de base relatifs à l'évaluation des risques liés aux xénobiotiques .....	46
1.2.6.1.1 Xénobiotique .....	46
1.2.6.1.2. Dose.....	46
1.2.6.1.3. Voies d'absorption.....	46
1.2.6.1.4. Types de toxicité.....	47
1.2.6.1.5 Variabilité individuelle.....	48
1.2.6.2. Méthodes d'évaluation des risques d'exposition aux xénobiotiques.....	48
<b>CHAPITRE 2 : CADRE DE L'ETUDE.....</b>	<b>51</b>
2.1 Description physique du cadre d'étude .....	52
2.1.1. Contexte climatique.....	54
2.1.2. Contexte hydrographique .....	54
2.1.3. Contexte hydrogéologique .....	54
2.1.4 L'interdépendance entre les différentes sources .....	56
2.1.5. Topographie .....	56
<b>2.1.6. Végétation .....</b>	<b>57</b>
2.1.7. Sols.....	57
2.2. Les réalités sociodémographiques et économiques.....	58

2.2.1. Peuplement et habitat .....	58
2.2.2. Les activités économiques prédominantes .....	58
2.3. Etat du sol et environnement .....	59
2.4 Problématique de l’approvisionnement en eau potable et de l’assainissement au Bénin .	60
2.4.1 Approvisionnement en eau potable au plan national .....	60
2.4.2 Assainissement .....	60
2.4.3 Hygiène .....	61
2.4.4 Stratégies nationales de l’approvisionnement en eau potable et de l’assainissement en milieu rural .....	61
2.4.4.1 Eau potable .....	61
2.4.4.2 Assainissement de base .....	61
2.5 Situation de l’approvisionnement en eau potable dans le Département de l’Atacora.....	62
<b>CHAPITRE 3 : DEMARCHES METHODOLOGIQUES.....</b>	<b>66</b>
3.1. Composition de l’équipe de recherche .....	67
3.2. Méthodologie de recherche .....	67
3.2.1. Technique de collecte des données et informations .....	68
3.2.1.1. Formation des enquêteurs et pré-test des questionnaires.....	69
3.2.1.2. Enquêtes de terrain .....	69
3.2.1.3. Entretiens.....	69
3.2.1.4.1. Entretiens individuels.....	69
3.2.1.4.2 Entretiens de groupe .....	70
3.2.1.4.3 Observation libre ou directe .....	70
3.2.2 Protocole de prélèvement des échantillons .....	70
3.2.2.1. Prélèvement de l'eau.....	70
3.2.2.2. Prélèvement des échantillons biologiques.....	74
3.2.3. Analyses .....	76
3.2.3.1. Analyse physico-chimique des eaux.....	76
3.2.3.2. Analyse des métaux toxiques et des pesticides dans l’eau .....	77
3.2.3.2.1. Méthode d’analyse des métaux toxiques.....	77
3.2.3.2.2. Méthode d’analyse des pesticides .....	79
3.2.4. Estimation quantitative de l’exposition.....	82
3.2.4.1. Enquête sur la consommation de l’eau de boisson .....	83
3.2.4.2. Etude du degré de contamination de l’eau de boisson.....	83
3.2.5. Identification des bio marqueurs d’exposition .....	84
3.2.6. Traitement des données .....	85
<b>CHAPITRE 4 : RESULTATS, DISCUSSION ET VERIFICATION DES HYPOTHESES.....</b>	<b>87</b>
4.1. Résultats et discussions.....	89
4.1.1 Publication n°1 : Qualité de l’eau des nappes et son impact sur la sante des populations à Kérou .....	89

4.1.1.1- Introduction.....	91
4.1.1.2- Matériel et méthodes.....	91
4.1.1.2.1- Matériel.....	91
4.1.1.2.2- Méthodes.....	92
4.1.1.2.3- Echantillonnage.....	92
4.1.1.2.4-Prélèvements de l'eau.....	92
4.1.1.2.5- Analyses de laboratoire.....	92
4.1.1.3- Résultats.....	93
4.1.1.4- Discussion.....	98
4.1.1.5- Conclusion.....	100
4.1.1.6 Références bibliographiques.....	101
4.1.2. Publication n°2 : Caractérisation physico-chimique comparée des puits modernes et forages d'eau dans la zone cotonnière de Kérou (Bénin) dans le bassin hydrographique du Niger.....	102
4.1.2.1 Introduction.....	105
4.1.2.2 Material and methods.....	106
4.1.2.3 Results and discussion.....	107
4.1.2.4 Conclusion.....	111
4.1.2.5 References.....	112
4.1.3. Publication n°3: Evaluation de la vulnérabilité des eaux de forages a la pollution par les métaux toxiques dans la commune de Kerou du bassin du Niger.....	114
4.1.3.1 Introduction.....	116
4.1.3.2 Materials and methods.....	117
4.1.3.3 Results.....	119
4.1.3.4 Discussion.....	119
4.1.3.5 Conclusion.....	123
4.1.3.6 References.....	123
4.1.4. Publication n°4 : Contamination de forages par 76 molécules de pesticides dans la zone cotonière de Kérou (Bénin) dans le Bassin du Niger.....	125
4.1.4.1 Introduction.....	128
4.1.4.2 Material and methods.....	129
4.1.4.3 Results.....	129
4.1.4.4 Discussion.....	134
4.1.4.6 References.....	136
4.1.5. Publication n°5 : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation de l'eau contaminée par le plomb dans la zone cotonnière de Kérou (Benin) dans le bassin du Niger.....	137

4.1.5.1 Introduction .....	139
4.1.5.2 Materials and methods.....	140
4.1.5.2.1 Study area .....	140
4.1.5.2.2 Treatment and analyze.....	140
4.1.5.2.3 Procedure of risks evaluation .....	141
4.1.5.3 Results .....	141
4.1.5.3.1 Collection of the data of drinking water .....	141
4.1.5.3.2 Characterization of the risk: calculation of the Daily exposure dose (DED) .....	143
4.1.5.4. Discussion .....	144
4.1.5.5 Conclusion.....	144
4.1.5.5 References .....	145
4.1.6. Publication n°6 : Plombémie et bio marqueurs de toxicité au plomb via la consommation d'eau de boisson à Kérou (Bénin) dans le Bassin Hydrographique du Niger.....	146
4.1.6.1 Introduction .....	149
4.1.6.2 Material and methods .....	150
4.1.6.3 Discussion .....	155
4.1.6.4. Conclusion.....	156
4.1.6.5 Bibliography.....	157
4.2. Vérification des hypothèses.....	158
<b>Papp. J.P.</b> (1968): Metal fume fever. Postgrad. Med. US National Committee for Geochemistry, 43-160. ....	178
<b>PATRICK L.</b> (2006): Lead toxicity part II: the role of free radical damage and the use of antioxidants in the pathology and treatment of lead toxicity. <i>Altern. Med. Rev</i> 11 : 114-127. 179	
<b>ANNEXES.....</b>	<b>184</b>
<b>Annexe 4 : Qualité microbiologique de l'eau de boisson dans les restaurants de Porto-Novo .....</b>	<b>185</b>
<b>Annexe 5: Comparison of the toxic metals pollution in soil, water and vegetables on three major gardening sites of Benin.....</b>	<b>196</b>
<b>Annexe 6 : Analyse des eaux de forage.....</b>	<b>205</b>
<b>Annexe 7 : Compte rendu d'analyse à l'Hôpital de Zone d'Abomey-Calavi/Sô-Ava....</b>	<b>215</b>
<b>Annexe 8: Caractéristiques physico- chimiques de l'eau de forages, de puits, du fleuve et coordonnées GPS des ouvrages .....</b>	<b>216</b>
<b>Annexe 9 : Tests statistiques pour la distribution des teneurs de plomb .....</b>	<b>218</b>
<b>Annexe 10 : Questionnaire d'enquête.....</b>	<b>219</b>
<b>TABLE DES MATIERES .....</b>	<b>221</b>