



Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Variation saisonnière de la qualité physicochimique et microbiologique des eaux d'irrigation et des légumes du site maraîcher de Bawéra et risques sanitaires associés

Innocent DJEGBE^{1,4*}, Taïra Sarah TAMOU-TABE², Nikita TOPANOU³,
F. Murielle SOGLO⁴, Armand PARAISO², Rousseau DJOUAKA⁴ et C. Nelly KELOME⁵

¹Département des Sciences de la Vie et de la Terre, Ecole Normale Supérieure de Natitingou,
Université Nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques d'Abomey, Bénin.

²Faculté d'Agronomie, Département des Sciences, Techniques et de Production Végétale,
Université de Parakou, BP 123 Parakou, Bénin.

³Faculté des Sciences et Techniques de Natitingou, Laboratoire de Chimie de l'Eau et de l'Environnement,
Université Nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques d'Abomey, Bénin.

⁴Plateforme Agriculture, Environnement-Santé, l'Institut International d'Agriculture Tropicale,
08 BP 0932 Cotonou, Bénin.

⁵Département des Sciences de la Terre, Institut National de l'Eau,
Université d'Abomey-Calavi, 01BP526 Cotonou, Bénin.

*Auteur correspondant, E-mail: djegbe1@yahoo.fr; Tel : +229 955 686 43

REMERCIEMENTS

Les auteurs expriment leur gratitude à l'Ecole Normale Supérieure de Natitingou de l'Université Nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques d'Abomey qui a financé cette étude.

RESUME

La présente étude s'est intéressée à la variation saisonnière de la qualité des eaux d'irrigation et des légumes produits sur le site maraîcher de Bawéra. Des enquêtes sociologiques ont été effectuées pour obtenir des informations auprès de 30 maraîchers sur les stratégies de gestion de l'eau en saison sèche. Des analyses physicochimiques et microbiologiques des eaux d'irrigation et des légumes ont été effectuées. Les teneurs en métaux lourds (cadmium, plomb, arsenic et cuivre) et en coliformes fécaux et totaux ont été recherchées. Les données recueillies ont été analysées par le logiciel Statistica version 7.1. Les résultats des enquêtes indiquent que les eaux usées des collecteurs de la ville et les eaux de puits sont utilisées pour l'irrigation des cultures avec une utilisation plus accrue des eaux usées pendant la saison sèche. Les analyses physicochimiques des eaux d'irrigation ont montré une forte variation des paramètres physicochimiques suivant les saisons. Les concentrations du cuivre et du plomb sont plus élevées dans les eaux d'irrigation et les légumes pendant la saison sèche. Les eaux d'irrigation et les légumes ont des teneurs en coliformes totaux et fécaux dépassant les normes requises. Le recours à ces légumes constitue une menace pour la santé des consommateurs.

© 2018 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés: Eaux usées, légumes, coliformes, métaux lourds, Bawéra, paramètres physicochimiques.

Seasonal variation of physicochemical and microbiological quality of irrigation water and vegetables at the Bawera market garden site and associated health risks

ABSTRACT

The present study investigated the seasonal variation of the quality of irrigation water and vegetables produced at the Bawera market garden site. Sociological surveys were carried out to obtain information from 30 market gardeners on water management strategies during the dry season. Physicochemical and microbiological analysis of irrigation water and vegetables were carried out. The contents of heavy metals (cadmium, lead, arsenic and copper), faecal and total coliforms were assessed. Data collected were analysed using Statistica version 7.1 software. Results from surveys indicate that wastewater from city collectors and well water are used for crop irrigation with increased use of wastewater during the dry season. The physicochemical analysis of the irrigation water showed a strong variation of the physicochemical parameters according to the seasons. Concentrations of copper and lead are high in irrigation water and vegetables during the dry season. The contents of total and faecal coliforms in irrigation water and vegetables exceed the required standards. The use of these vegetables poses a threat to consumer's health.

© 2018 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: wastewater, vegetables, coliforms, heavy metals, Bawera, physicochemical parameters.

INTRODUCTION

La dernière décennie est marquée par une croissance rapide des populations des villes des pays en développement (United Nation, 2015). Cette explosion démographique et l'urbanisation poussée soumettent les populations à des difficultés relatives à l'approvisionnement en produits alimentaires frais et à la disponibilité des terres exploitables (Bremner, 2012). L'agriculture péri-urbaine représente l'opportunité d'assurer la sécurité alimentaire, les conditions de santé, l'économie locale et l'intégration sociale des jeunes gens (Orsini et al., 2013). Au Bénin, le maraîchage est devenu un nouveau métier et joue un rôle important dans l'approvisionnement en légumes frais (Atidegla et al., 2011). Cependant, contrairement à la production saisonnière de vivriers dans les campagnes, le maraîchage en zone urbaine est pratiqué toute l'année avec des techniques de production intensives qui ne garantissent pas la qualité sanitaire des légumes produits (Allagbe et al., 2014).

Les modifications climatiques observées ces dernières années, caractérisées par l'augmentation de la température moyenne et par la rareté des pluies, ont pour corollaires

la dégradation de la qualité et la disponibilité de l'eau (De Nicola et al., 2015). Des mesures d'adaptation et d'atténuation qui peuvent aider à réduire la pression sur les ressources en eau conventionnelles (eaux de surface et aquifères fossiles ou eaux souterraines) comprennent le dessalement, le recyclage et la réutilisation des eaux usées (Iglesias et Garrote, 2015). L'irrigation des cultures avec les eaux usées traitées, mal traitées, diluées et même brutes est une pratique répandue dans les zones urbaines et péri-urbaines dans la plupart des pays en développement (Gemmell et Schmidt, 2010; DeNicola et al., 2015; Gatto D'Andrea et al., 2015). En Afrique subsaharienne, on estime que 10% de la population des villes utilise des eaux usées pour l'irrigation des cultures, avec 50-90% des citoyens d'Afrique de l'Ouest ayant déjà consommé des légumes irrigués avec des eaux usées ou eaux de surfaces polluées (Amoah et al., 2016).

Ces eaux usées constituent une ressource importante et une alternative intéressante de par leur pouvoir fertilisant mais aussi leur disponibilité (Gemmell et Schmidt, 2010; Arborea et al., 2017). Cependant, dans les pays en développement, ces eaux usées sont employées généralement sans traitement préalable ou avec un

traitement partiel favorisant ainsi une contamination des légumes. En effet, les eaux usées contiennent de nombreux polluants tels que les solides en suspension, les microorganismes pathogènes et une variété de produits chimiques comme les métaux lourds, les pesticides, ce qui peut rendre ces eaux inadéquates pour l'irrigation (Khan et al., 2013; Gatto D'Andrea et al., 2015). Au Bénin, si de récentes études ont signalé la pollution des eaux d'irrigation et des légumes (Atidéglà et al., 2010; Djouaka et al., 2016), très peu de données sont disponibles quant à la variation saisonnière du degré de cette pollution. C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente étude qui revêt trois dimensions à savoir les dimensions agronomiques, environnementales et sanitaires. Elle a pour but d'étudier la variation saisonnière de la pollution physicochimique et microbiologique des eaux d'irrigation et des légumes dans le plus grand périmètre maraîcher de la ville de Parakou au Nord-Est du Bénin.

MATERIEL ET METHODES

Site d'étude

Cette étude descriptive et analytique a été réalisée dans le périmètre maraîcher de Bawèra localisé dans la ville de Parakou (Figure 1). Cette ville de plus 255 478 habitants (Institut National de la Statistique et d'Analyse Economique, 2013) est située à 435 km au Nord de Cotonou (capitale économique du pays). Il y règne un climat tropical humide de type soudanien, alternant une saison sèche (novembre à avril) et une saison pluvieuse (mai à octobre) qui la rend favorable à l'agriculture. La température moyenne annuelle de la ville est de 29 °C avec une pluviométrie moyenne de 1200 mm/an. La ville de Parakou compte plus d'une dizaine de sites maraîchers dont le plus grand est situé à Bawèra (Yolou et al., 2015) à proximité du grand marché Arzèké (9°19'N et 2°37'E). Ce site est traversé par un effluent d'eaux usées qui est un mélange des eaux de ruissellement déversées par un grand collecteur défaillant de la ville et des eaux issues de la station d'épuration du marché.

Enquête de terrain

Une étude descriptive a été conduite sur le site maraîcher de Bawèra en octobre 2014 et en mars 2015. Des approches sociologiques telles que les questionnaires semi-structurés, l'interview et l'observation directe ont été utilisés pour obtenir des informations sur les pratiques culturales au niveau de 30 maraîchers choisis de façon aléatoire. Les principales informations recueillies concernent la socio-démographie (âge, sexe, statut social et activité principale), la description des pratiques agricoles (types de légumes cultivés, sources d'approvisionnement en eau, systèmes d'irrigation, types de pesticides et engrais utilisés), les perceptions des maraîchers sur la qualité des eaux et légumes et enfin les stratégies d'adaptation des maraîchers par rapport aux changements climatiques (gestion de l'eau et des ravageurs).

Echantillonnage des eaux et des légumes

Des eaux ont été collectées de façon aseptique dans diverses sources d'eau (puits et eaux usées) utilisées pour l'irrigation des légumes en saison pluvieuse (octobre 2014) et saison sèche (mars 2015). Les échantillons d'eau collectés ont été ensuite transférés dans des bouteilles en verre stériles de 1 litre pour les analyses microbiologiques et dans des bouteilles en polyéthylène préalablement trempées dans une solution de HCl 0,01N et rincées à l'eau déionisée pour l'analyse des métaux lourds (Chary et al., 2008). Au total, 12 échantillons d'eaux ont été collectés pendant les deux saisons. Parallèlement, des échantillons de laitue et de carotte ont été prélevés auprès de plusieurs maraîchers de façon aléatoire sur tout le site et transférés dans des sacs en plastiques (Zip bag). Tous les échantillons collectés ont été conservés à 4 °C dans une glacière puis transportés au laboratoire. Au total, 12 échantillons de légumes ont été collectés pendant les deux saisons. Les analyses microbiologiques ont été réalisées juste après le prélèvement tandis que l'analyse des métaux lourds a été effectuée au laboratoire de la plateforme Agriculture Environnement et Santé de l'Institut

International d'Agriculture Tropicale (IITA-Bénin).

Analyses physicochimiques des eaux d'irrigation

Le potentiel hydrogène (pH), la température (T), la conductivité électrique (C.E.) et les solides totaux dissous (TDS) des eaux d'irrigation ont été mesurés *in situ* au niveau de tous les points d'eau retenus pendant les deux saisons d'échantillonnage. Le pH et la température ont été mesurés à l'aide du pH-mètre WAG-WE30200 (Wagtech projects, Berkshire, UK), tandis que la conductivité électrique et le TDS ont été mesurés à l'aide d'un conductimètre WAG-WE30210 (Wagtech projects, Berkshire, UK).

Dosage des métaux lourds dans les eaux d'irrigation et les légumes

Afin de déterminer le taux de pollution métallique des eaux d'irrigation, le dosage des métaux lourds tels que le Plomb (Pb), le Cadmium (Cd), l'Arsenic (As) et le Cuivre (Cu) a été réalisé à l'aide du Kit Metalyser HM 3000 (Trace2O, Berkshire, UK). L'analyse de ces métaux est basée sur la méthode de voltampérométrie inverse décrite par Djouaka et al. (2016).

Les échantillons de laitue et de carotte ont été soigneusement séchés au four (Mechanical convection oven, Economy model 18EM) pour une déshydratation rapide à 50 °C pendant 12 h et à 120 °C pendant 24 h puis réduits en poudre (Koumoulo et al., 2013). L'extraction des métaux lourds est basée sur la méthode décrite par Maleki et al. (2014). Les métaux lourds ont été quantifiés grâce au Metalyser HM 3000 (Trace2O, Berkshire, Royaume-Uni) comme décrit par Djouaka et al. (2016).

Analyses microbiologiques des eaux d'irrigation et des légumes

Ces analyses ont été effectuées afin de rechercher les germes indicateurs de pollution fécale (coliformes totaux et fécaux) dans les eaux d'irrigation et dans les légumes. La méthode utilisée pour le dénombrement de ces divers microorganismes a été la technique de

filtration sur membrane (Djouaka et al., 2016). Le milieu de culture utilisé a été le milieu Membrane Lauryl Sulphate Broth (MLSB) (Wagtech projects, Berkshire, UK, 2014) sélectif pour le dénombrement des coliformes.

Méthodologie d'analyse microbiologique des eaux d'irrigation

Des dilutions décimales successives allant de 10^{-1} à 10^{-5} ont été préparées à partir des diverses eaux collectées. Un volume de 50 ml de chaque dilution a été filtré à travers une membrane filtrante de porosité 0,45µm qui par la suite a été déposé dans une boîte de pétri contenant le milieu de culture sélectif. Ces boîtes de pétri ont été laissées pendant 1h sous la hotte pour éviter toute contamination puis incubées pendant 24 h à 37 °C pour les coliformes totaux et à 44 °C pour les coliformes fécaux. Après l'incubation, les colonies caractéristiques des coliformes (colonies jaunes) ont été comptées. Les résultats sont exprimés en \log_{10} (UFC/100ml).

Méthodologie d'analyse microbiologique de la laitue et de la carotte

Pour chaque spéculation, un échantillon de 50 g a été broyé et dilué dans 450 ml d'eau peptonée saline et homogénéisé pendant 10 minutes à l'aide d'un agitateur. A partir du mélange obtenu, des dilutions décimales allant jusqu' à 10^{-5} ont été effectuées avec l'eau peptonée saline. Ensuite, 10 ml de suspension ont été filtrés à travers une membrane filtrante qui a été incubée sur milieu sélectif pendant 24 h à 37 °C pour les coliformes totaux et à 44 °C pour les coliformes fécaux. Le dénombrement a été fait par la méthode des quadrants. Le nombre total de colonies a été obtenu en multipliant par quatre (4) le nombre de colonies d'un quadrant.

Analyse statistique des données

Les valeurs moyennes des différents paramètres étudiés ont été comparées entre la saison des pluies et la saison sèche à l'aide du test t de student du logiciel Statistica version 7.1, au seuil de 0,1%. Les résultats obtenus ont été également comparés aux normes FAO/OMS.

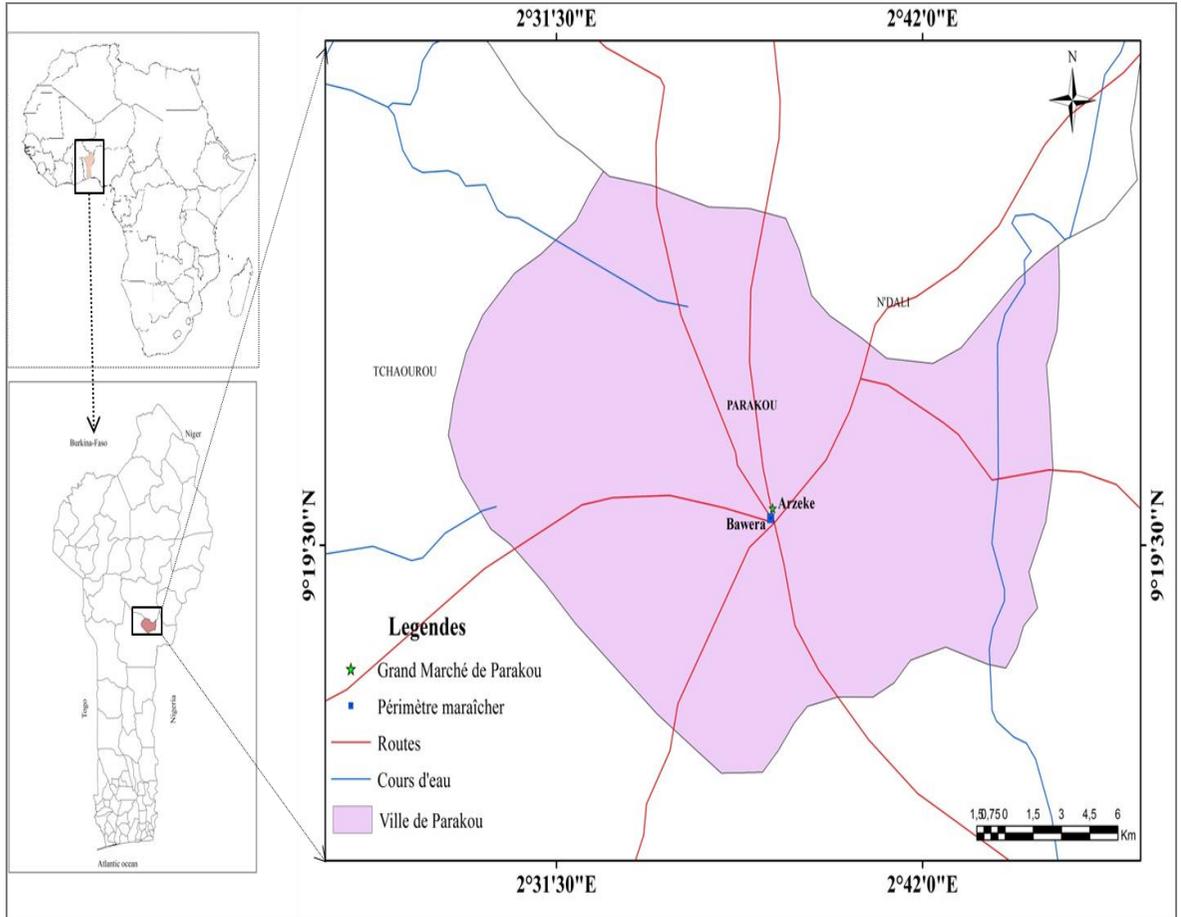


Figure 1: Localisation du site maraîcher de Bawéra dans la ville de Parakou.

RESULTATS

Sources des eaux d'irrigation

Des observations directes et des interviews, il ressort que deux (02) types d'eaux à savoir les eaux de puits (EP) et les eaux usées (EU) venant des caniveaux de collectes de la ville sont utilisés pour l'irrigation des légumes sur le site maraîcher de Bawera (Figure 2). Pendant la saison pluvieuse, 37% et 17% de maraîchers utilisent respectivement seules les eaux de puits et les eaux usées alors que 46% utilisent en combinaison les deux types d'eau (Figure 3). Il faut noter que les parcelles de légumes situées proches des effluents d'eaux usées venant de la ville sont irriguées principalement par celles-ci alors que les parcelles situées plus à l'intérieur sont

irriguées par les eaux des puits qui y sont installés. Pendant la saison sèche, 67% de producteurs utilisent les eaux usées de la ville contre 30% qui utilisent l'eau de puits. Seuls 3% utilisent les deux types d'eau (Figure 4). Les maraîchers dont les parcelles sont éloignées des caniveaux de collecte des eaux usées, utilisent des motopompes pour stocker l'eau usée dans des bassins ou tanks.

Perceptions des maraîchers sur la qualité sanitaire des eaux d'irrigation et des légumes produits

Parmi les 30 maraîchers enquêtés, 83% reconnaissent que l'utilisation des eaux usées dans le maraîchage constitue un danger pour la santé des agriculteurs et des consommateurs car celles-ci peuvent contenir des

contaminants microbiologiques, chimiques et physiques (Tableau 1).

Caractéristiques physicochimiques des eaux d'irrigation

Température

La température moyenne des eaux usées a été de 34,04 °C pendant la saison sèche et 31,62 °C pendant la saison pluvieuse. Celle des eaux de puits a été de 28,11 °C pendant la saison sèche et 27,69 °C pendant la saison pluvieuse (Tableau 2). Ces valeurs de la température des eaux d'irrigation enregistrées sont significativement plus élevées ($p=0,006$) pendant la saison sèche par rapport à la saison pluvieuse ($p=0,006$). De même, la température moyenne des eaux usées est significativement plus forte ($p=0,000$) que celle des eaux de puits.

Potentiel hydrogène (pH)

Le pH de toutes les eaux d'irrigation a été relativement basique avec des valeurs comprises entre 7,25 et 9,07 (Tableau 2). La valeur du pH des différentes sources d'irrigation a été significativement plus élevée (basique) en saison pluvieuse qu'en saison sèche ($p=0,000$). De plus, le pH des eaux usées est significativement plus élevé c'est-à-dire basique ($p=0,000$) que celle des eaux de puits.

Conductivité

La conductivité électrique des eaux usées a été significativement plus élevée pendant la saison sèche ($CE = 1195 \mu S/cm$) que pendant la saison pluvieuse ($CE = 652,64 \mu S/cm$). Contrairement aux eaux usées, la conductivité électrique des eaux de puits a été plus faible en saison sèche ($CE=744,08 \mu S/cm$) qu'en saison pluvieuse ($CE=1046,53 \mu S/cm$). Cette inversion de la conductivité serait liée aux caractéristiques des eaux d'infiltration, et aux propriétés naturelles des couches géologiques qui séparent la nappe phréatique de la surface du sol. Les différentes conductivités ont des valeurs inférieures à 3000 $\mu S/cm$ qui est la valeur limite selon la norme établie par la FAO.

Contamination des eaux d'irrigation et des légumes par les métaux lourds

L'analyse des métaux lourds dans les eaux d'irrigation a signalé la présence de l'arsenic, du plomb et du cuivre. L'arsenic (As) a été retrouvé uniquement pendant la saison sèche dans les deux sources d'irrigation (As : $EU=5,81 \pm 3,04.10^{-3}$ ppm, $EP=2,65 \pm 0,67.10^{-3}$ ppm). Le plomb et le cuivre ont été détectés dans les eaux usées et dans l'eau de puits pendant les deux saisons. Les fortes concentrations de Pb et de Cu ont été retrouvées dans les eaux usées pendant la saison sèche (Pb = $12,29 \pm 0,52.10^{-3}$ ppm; Cu = $46,26 \pm 5,37.10^{-3}$ ppm) alors que les plus faibles concentrations de ces métaux ont été retrouvées pendant la saison pluvieuse dans les eaux de puits (Pb = $5,92 \pm 1,66.10^{-3}$ ppm; Cu = $31,91 \pm 9,74.10^{-3}$ ppm). Ces concentrations sont significativement plus élevées ($p=0,000$) en saison sèche qu'en saison pluvieuse (Tableau 3). Toutefois, toutes les sources d'eau sont contaminées à des teneurs inférieures aux limites maximales admises par la FAO /OMS.

A l'instar des eaux d'irrigation, le plomb et le cuivre ont été retrouvés avec de très fortes concentrations dans les légumes. Les plus fortes concentrations de cuivre et de plomb ont été respectivement retrouvées dans les carottes (Cu= $45,69 \pm 0,99$ ppm) et dans la laitue (Pb= $20,51 \pm 1,73$ ppm) pendant la saison sèche. La teneur en Pb et en Cu des légumes à l'instar des eaux d'irrigation a significativement augmenté en saison sèche par rapport à la saison pluvieuse. Le Cd a été retrouvé uniquement dans la carotte en saison pluvieuse mais à une teneur supérieure à la limite maximale admissible par l'OMS (Cd= 0,19 ppm). La concentration du Pb obtenue dans les légumes était supérieure à la norme OMS quelle que soit la saison. La dose d'As était supérieure à la norme uniquement pendant la saison sèche tandis que la teneur en cuivre des légumes était comprise dans les limites admissibles.

Contamination des eaux usées et des légumes par les coliformes

Toutes les concentrations obtenues dans cette étude sont exprimées en \log_{10} (UFC/100ml). Les concentrations en coliformes totaux (CT) et fécaux (CF) des eaux usées ont été respectivement de 5,11 UFC/100 ml et 5,08 UFC/100 ml pendant la saison sèche. Ces concentrations ont été significativement plus élevées que celles obtenues en saison pluvieuse (Tableau 5). Ces concentrations ont été largement supérieures à la valeur limite maximale (3 UFC/100 ml) recommandée par l'OMS. Les eaux de puits sont significativement plus contaminées en

CT en saison sèche qu'en saison pluvieuse ($4,9 \pm 0,10$ UFC/100 ml contre $2,97 \pm 0,84$ UFC/100 ml). Par contre, elles ont été moins concentrées en CF en saison sèche qu'en saison pluvieuse ($4,05 \pm 0,02$ UFC/100 ml contre $4,35 \pm 0,04$ UFC/100 ml).

De l'analyse des légumes, il ressort que pour la carotte, les concentrations en CT et CF ont été plus élevées en saison sèche qu'en saison pluvieuse ($6,66 \pm 0,11$ UFC/100 g contre $5,08 \pm 0,13$ UFC/100 g et $5,21 \pm 0,06$ UFC/100 g contre $4,42 \pm 0,10$ UFC/100 g). Aucune différence significative n'a été observée entre les concentrations en CF et CT de la laitue suivant les saisons.



Figure 2 : Collecteur d'eaux usées jouxtant le périmètre maraîcher de Bawera.

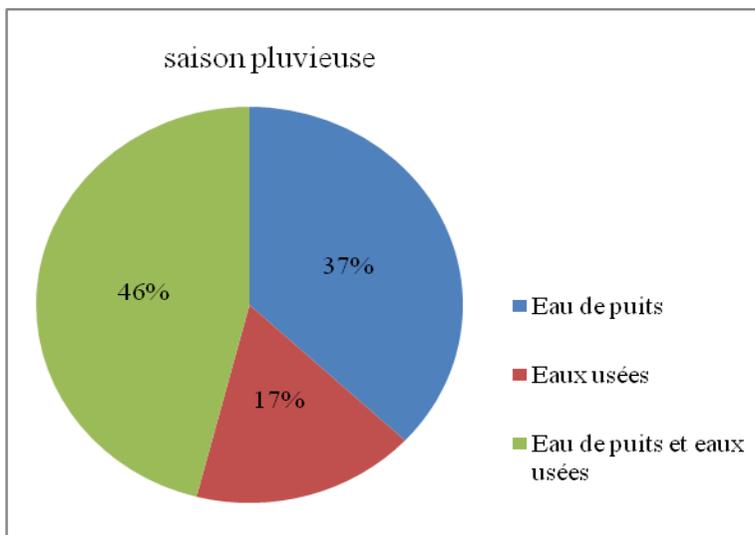


Figure 3 : Répartition des sources d'eau utilisées pour l'irrigation des légumes en saison pluvieuse.

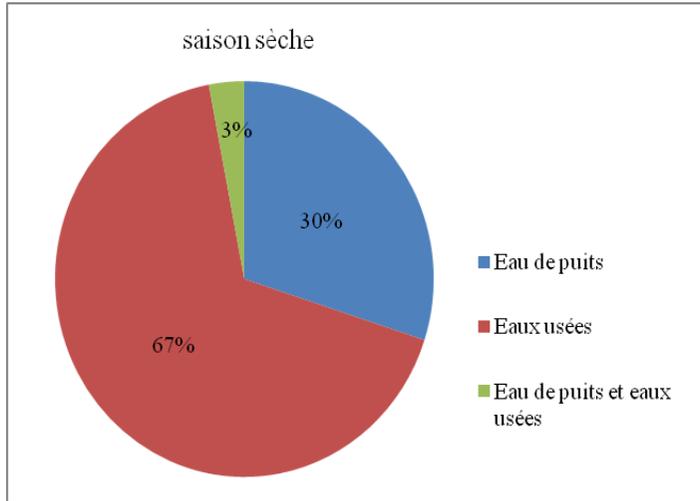


Figure 4 : Répartition des sources d'eau utilisées pour l'irrigation des légumes en saison sèche.

Tableau 1 : Perception des maraîchers sur la qualité des eaux d'irrigation.

Critères de perceptions		Nombre de répondants	Pourcentage (%)
Présence de contaminants dans les eaux d'irrigation	Oui	25	83,3
	Non	5	16,7
Types de contaminants	Microorganismes	23	76,7
	Produits chimiques	2	6,7
	Débris végétaux et plastiques	9	30
Connaissance des risques sanitaires liée à l'utilisation des eaux usées	Oui	22	73,3
	Non	8	26,7
Nombre total d'enquêtés		30	100

Tableau 2 : Variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'irrigation.

Saison	Type d'eaux	Température (°C)	pH	Conductivité (µS)	TDS (ppm)
	Eaux usées	31,62 ± 0,53 ^b	9,07 ± 0,07 ^c	652,64 ± 5,28 ^a	330,82 ± 1,46 ^a
Saison pluvieuse	Puits	27,69 ± 0,50 ^a	7,49 ± 0,05 ^a	1046,53 ± 63,94 ^b	525,71 ± 32,30 ^b
Saison sèche	Eaux usées	34,04 ± 0,23 ^c	7,90 ± 0,14 ^b	1195,00 ± 21,13 ^b	592,67 ± 12,55 ^b
	Puits	28,11 ± 0,40 ^a	7,25 ± 0,16 ^a	744,08 ± 90,11 ^a	373,29 ± 44,14 ^a
P (saison)		0,006**	0,000***	0,047*	0,071
P (Type d'eau)		0,000***	0,000***	0,629	0,681
P (saison * Type d'eaux)		0,048*	0,002***	0,000***	0,000***

*** : Différence très hautement significative au seuil de 0,1% ; ** : Différence hautement significative au seuil de 1% ; * :

Différence significative au seuil de 5%.

a,b,c : les valeurs portant des lettres différentes indiquent une différence significative.

Tableau 3 : Concentration des métaux lourds dans les eaux d'irrigation suivant les saisons.

Type d'eaux	Saison	As (ppb)	Cd (ppb)	Pb (ppb)	Cu (ppb)
Eaux usées	Saison pluvieuse	0	<0,001	2,41 ± 1,35	5,99 ± 3,30
	Saison sèche	5,81 ± 3,04	<0,001	12,29 ± 0,52	46,26 ± 5,37
	<i>p (t-test)</i>	0,0148*	-	0,0001***	0,0002***
Puits	Saison pluvieuse	0	<0,001	0,76 ± 0,55	0,84 ± 1,18
	Saison sèche	2,65 ± 0,67	<0,001	5,92 ± 1,66	31,91 ± 9,74
	<i>p (t-test)</i>	0,0012**	-	0,0194*	0,0168*

*** : Différence très hautement significative au seuil de 0,1 % ;** : Différence hautement significative au seuil de 1% ;

* : Différence significative au seuil de 5%. ; t test = Test t de Student.

Tableau 4: Concentration des métaux lourds dans les légumes suivant les saisons.

Type de légumes	Saisons	As (ppm)	Cd (ppm)	Pb (ppm)	Cu (ppm)
Laitue	Saison pluvieuse	0	0	9,19± 6,58	8,70 ± 0,87
	Saison sèche	0	0	20,51 ± 1,73	21,88 ± 1,87
	<i>p (t-test)</i>	-	-	0,0225*	0,0002***
Carotte	Saison pluvieuse	0	0,19 ± 0,033	7,97± 1,53	25,95 ± 8,67
	Saison sèche	0	0	5,35 ± 0,82	45,69 ± 0,99
	<i>p (t-test)</i>	-	0,1870	0,0296*	0,0086**

*** : Différence très hautement significative au seuil de 0,1 % ;** : Différence hautement significative au seuil de 1% ;

* : Différence significative au seuil de 5%. ; t test = Test t de Student.

Tableau 5 : Concentration en coliformes des eaux d'irrigation et des légumes.

Coliformes	Saison	Eaux d'irrigation		Légumes	
		Eaux usées	Eaux de puits	Laitue	Carotte
CT	Saison pluvieuse	3,75 ± 0,08	2,97 ± 0,84	6,21 ± 0,32	5,08 ± 0,13
	Saison sèche	5,11 ± 0,03	4,9 ± 0,10	6,49 ± 0,09	6,66 ± 0,11
	<i>p (t-test)</i>	0,0000***	0,0084**	0,1103	0,0000***
CF	Saison pluvieuse	3,41 ± 0,10	4,35 ± 0,04	5,30 ± 0,26	4,42 ± 0,10
	Saison sèche	5,08 ± 0,58	4,05 ± 0,02	5,66 ± 0,11	5,21 ± 0,06
	<i>p (t-test)</i>	0,0041**	0,0001***	0,0472*	0,0002***

*** : Différence très hautement significative au seuil de 0,1 % ;** : Différence hautement significative au seuil de 1% ;

* : Différence significative au seuil de 5%. ; t test = Test t de Student. NB : Les résultats sont exprimés en log₁₀ (UFC/100ml).

DISCUSSION

L'agriculture urbaine et périurbaine est une activité importante dans la ville de Parakou où les maraîchers utilisent les eaux usées et des eaux de puits pour l'irrigation des cultures. Les modifications climatiques

observées ces dernières années perturbent profondément le cycle des cultures. Face à ce stress climatique, les sociétés tentent de s'adapter et de trouver des solutions sur le long terme (Gemmell et Schmidt 2012; Majule et al., 2013; Ozer et al., 2013). Ainsi,

les maraîchers de Bawéra ont développé plusieurs stratégies pour pallier la rareté de l'eau en utilisant les eaux usées pour irriguer les cultures malgré les risques sanitaires qui y sont afférents. La grande partie de ces eaux usées provient des ménages et des marais peu profonds issues du lessivage des sols souillés de matières fécales humaines et animales. Selon les agriculteurs, la rareté de l'eau est la conséquence directe d'une augmentation des températures et des périodes de sécheresses trop longues. En effet, en période sèche, la température ambiante augmente à cause du fort ensoleillement, ce qui affecte également la température des eaux d'irrigation augmentant leur évaporation. Les résultats obtenus dans la présente étude ont montré que les eaux usées de la ville de Parakou ont une température plus élevée que celle des eaux de puits. Cette différence de température des deux sources d'eau s'expliquerait par le fait que les eaux de puits bénéficient de l'ombre engendrée par les arbustes présents sur le site alors que les eaux usées venant de la ville sont exposées directement aux rayons solaires. Ces observations sont similaires à celles de Pazou et al. (2010) qui stipulent que les échanges thermiques avec l'atmosphère sont favorisés par cette exposition aux rayons solaires.

Le pH plus élevé des eaux usées de ville par rapport aux eaux de puits observé au cours de cette étude est certainement liée à l'existence de plusieurs effluents d'eaux susceptibles d'augmenter le pH de l'eau tels que les eaux de lessive, vaisselle, toilettes des ménages qui sont déversés dans les caniveaux. Ce pH élevé des eaux usées en saison pluvieuse a été déjà rapporté par Gemmel et Schmidt (2010) pour les eaux de rivières. Le faible pH des eaux de puits obtenu serait lié à la nature géologique et les propriétés chimiques du sol où les puits ont été implantés.

Les valeurs de la conductivité obtenues indiquent une forte minéralisation des eaux usées surtout en saison sèche. Cette forte minéralisation est due à une richesse en minéraux de divers déchets provenant des activités anthropiques et également à la concentration de ces minéraux résultant de

l'évaporation d'une partie de l'eau en saison sèche. Les TDS, quant à eux, permettent de connaître la quantité de matières dissoutes des éléments tels que le calcium, le magnésium, le sodium, les chlorures et les sulfates (Ndinwa et al., 2012). Les valeurs du TDS des eaux évoluent dans le même sens que la conductivité. Ces valeurs varient de 330,82 et 592,67 ppm et sont comprises dans la limite admissible par la FAO (2000 ppm).

Contrairement à Wognin et al. (2013) qui ont rapporté que seulement un petit nombre de maraîchers est conscient des risques sanitaires liés aux eaux d'irrigation, les résultats de cette étude ont montré une prise de conscience des maraîchers de Bawéra sur la qualité des eaux utilisées pour l'irrigation des légumes et les risques encourus. Ainsi, d'après eux, les consommateurs constituent la frange de la population la plus exposée à ces risques, s'en suivent les maraîchers du fait qu'ils sont non seulement en contact permanent avec ces eaux souillées mais consomment eux-mêmes une partie des produits et enfin les vendeurs qui viennent acheter les légumes en gros et souvent les rincent dans ces eaux souillées.

Des analyses faites au niveau des eaux usées, des eaux de puits et des légumes cultivés dans le périmètre maraîcher de Bawéra, ont signalé la présence des métaux lourds à savoir l'As, Pb, Cd et le Cu avec des concentrations dépassant parfois les normes recommandées par l'OMS. Des résultats similaires de forte contamination des eaux d'irrigation et des légumes par les métaux lourds ont été déjà rapportés dans le périmètre maraîcher de Houéyiho à Cotonou au Sud-Bénin (Koumolou et al., 2013; Djouaka et al., 2016). Cette contamination des eaux d'irrigation par des métaux lourds proviendrait du déversement des ordures ménagères telles que les piles usées, les boîtes de conserves, les matières plastiques, les débris végétaux, les cadavres d'animaux, les huiles de vidange dans les caniveaux. Le site maraîcher de Bawéra situé près du marché central Arzèkè est bordé de plusieurs dépotoirs sauvages qui participent à la contamination des eaux d'irrigation et du sol

du site. Aussi, les eaux issues de la station d'épuration sont mal épurées à cause mauvais état du matériel de traitement de ces eaux et la majorité des caniveaux sont souvent remplies de déchets, de sable, et d'herbes. Tout ceci explique la forte contamination des eaux usées de ville venant des caniveaux par rapport à celles des puits. Il a été également observé une production intensive des cultures caractérisées par une utilisation importante d'engrais chimiques/organiques et de pesticides en saison sèche. Ce qui serait à la base de l'augmentation des contaminants des eaux et des légumes en cette période. Des études visant à mettre en exergue l'impact de cette pratique culturelle sur la qualité des légumes, surtout par le dosage des matières organiques telles que les phosphates, les nitrates les nitrites et l'ammonium sont à encourager.

Une variation saisonnière des taux de Pb et de Cd dans les légumes a été observée au cours de cette étude. En effet, il a été noté une augmentation de la teneur en Pb et en Cd dans la carotte en saison pluvieuse par rapport à la saison sèche. Ceci pourrait s'expliquer par une migration massive de ces contaminants dans le sol par suite de l'infiltration des eaux de ruissellement. Ainsi, la carotte étant un légume souterrain, elle se retrouve en contact direct avec ces métaux infiltrés contrairement à la laitue qui ne reçoit que les polluants issus des pesticides et de l'atmosphère. De plus, il a été rapporté par Sêkara et al. (2005) que le Cd est un élément mobile qui est facilement absorbé par les plantes racinaires.

Les métaux lourds sont des polluants engendrés par l'activité humaine qui ont un fort impact toxicologique. Les métaux toxiques sont nombreux, mais il s'agit surtout de l'arsenic, du cadmium, du plomb et du cuivre. Ils ont des impacts sur les produits de consommation courante et sur la santé humaine. Il est assez difficile de prévoir l'évolution des métaux dans l'environnement, car ils peuvent subir un grand nombre de transformations (oxydation, réduction, complexation, etc.), et cette évolution dépend fortement du milieu.

De façon globale et quelle que soit la saison d'échantillonnage, les légumes sont

plus contaminés que les eaux d'irrigation. Ce constat suggère, comme le nombre de nombreux travaux (Khan et al., 2013; Koumolou et al., 2013; Maleki et al., 2014), que la contamination des légumes par les polluants est l'effet synergique de plusieurs sources (eau, environnement, sol, et le comportement anthropique etc.). On retient donc que du point de vue de la toxicité en métaux lourds, tous les légumes analysés sont contaminés. Or la consommation des légumes contaminés par ces métaux engendre des problèmes de santé graves (Khan et al., 2013) tels que les troubles rénaux et hépatiques, le saturnisme se traduisant par des troubles cliniques, des anomalies biologiques et des altérations histopathologiques variées (Degbey et al., 2010), l'anorexie, vomissements, irritabilité, troubles de comportement, douleurs abdominales (colique) et constipation; intoxication sévère, convulsions, coma, mort (INSPQ, 2003), l'altération osseuse et hypertension artérielle ; « Itai Itai » (Rodier et al., 2009), manifestations cardiovasculaires et tachycardie ; intoxication chronique : troubles digestifs, syndromes mélano-dermiques et neurologiques (Rodier et al., 2009).

Les analyses bactériologiques des eaux d'irrigation au cours des deux campagnes de contrôle de qualité des eaux ont révélé que les eaux d'irrigation étaient toutes contaminées. Les germes pathogènes responsables de cette contamination sont les coliformes fécaux et les coliformes totaux. Ces coliformes ont été retrouvés avec de forte concentration dépassant les normes fixées par l'OMS. Cette forte concentration de germes d'origine fécale illustre bien une source de contamination fécale et met en exergue une problématique complexe influencée par de nombreux facteurs environnementaux et anthropiques. Parmi ces facteurs figurent l'insalubrité du site de maraîchage se trouvant près d'un dépotoir d'ordures et les comportements navrants des usagers du grand marché Arzêkê qui défèquent sur le site maraîcher et le long des réseaux de collectes d'eaux (caniveaux à ciel ouvert). A tout ceci s'ajoute le comportement peu orthodoxe des maraîchers

eux-mêmes qui défèquent sur le site et la présence des animaux en divagation. La forte pollution des eaux d'irrigation est également la conséquence de l'absence d'un système de collecte et d'épuration des eaux usées, l'absence d'un système d'évacuation et de traitement des ordures ménagères issues du grand marché. De plus, l'infiltration des matières organiques d'origine fécale dans le sol et la faible profondeur de la nappe phréatique favorisent également la pollution des eaux souterraines par les microorganismes pathogènes (Hounsounou et al., 2016). Les eaux analysées sont plus polluées en saison sèche qu'en saison pluvieuse. Ce qui implique qu'elles subissent une infiltration des microorganismes pathogènes provenant des matières fécales humaines et animales. La température est l'un des paramètres qui influence la croissance des microorganismes. L'augmentation du nombre de pathogènes en période sèche serait due principalement à l'augmentation de la température des eaux (Nanfack et al., 2014). L'utilisation des fumiers comme fertilisants peut être également une source de pollution des eaux souterraines (Krira et al., 2001). Des résultats similaires ont été observés par plusieurs autres auteurs, notamment Ndounla (2007) sur la qualité des eaux de robinets, de sources et de puits dans la ville de Dschang au Cameroun, Hounsounou et al. (2016) sur les puits de Grand-Popo au Bénin, ainsi que Nguendo (2010) sur la qualité bactériologique de l'eau à Abomey-Calavi au Bénin.

Pendant les deux saisons d'échantillonnage, les résultats ont montré la présence d'une forte concentration en coliformes fécaux et en coliformes totaux dans la laitue et la carotte. La présence de bactéries pathogènes dans les légumes prouve que ces derniers en reçoivent de l'eau et du sol. La contamination de ces cultures est sans doute intimement liée à la pollution des eaux d'irrigation (eaux usées et eaux de puits) et du sol. D'après Atidegla et Agbossou (2010), la pluie et les eaux de ruissellement sont responsables de la dissémination des polluants dans l'environnement. Cependant, contrairement à cette observation, les résultats

des analyses ont montré une augmentation de la concentration en coliformes pendant la saison sèche aussi bien pour les eaux d'irrigation que pour les légumes. La contamination plus importante des légumes en saison sèche s'expliquerait par le fait que les eaux d'irrigation les plus employées proviennent des eaux usées de ville qui sont les plus contaminées.

En santé publique, la consommation de tels légumes pourrait constituer une source de maladies d'origine hydrique (choléra, dysenterie, etc.). Toutefois, la saison sèche semble être celle à risque car la charge en coliformes fécaux est la plus élevée en cette période.

Conclusion

A Parakou, une ville septentrionale du Bénin à climat semi-aride, les besoins croissants en eaux d'irrigation obligent les agriculteurs du site maraîcher de Bawéra à utiliser deux types d'eau pour l'irrigation des cultures : les eaux de puits présents sur le périmètre et les eaux usées de canalisation de la ville. La contamination en métaux lourds et en coliformes fécaux et totaux de ces eaux est plus forte pendant la saison sèche, entraînant aussi la contamination des légumes. Des mesures idoines s'imposent concernant le traitement effectif et efficient des eaux usées avant utilisation. De même, la sensibilisation des maraîchers et des riverains sur l'hygiène générale à adopter sur le site est nécessaire pour l'amélioration de la qualité des produits afin de préserver la santé des consommateurs.

CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêt.

CONTRIBUTION DES AUTEURS

ID, NT et RD ont rédigé le protocole de l'étude. TSTT et MFS ont effectué la collecte des données et les analyses au laboratoire. ID a rédigé le manuscrit, AP et NCK ont corrigé la version finale du manuscrit.

REFERENCES

- Akbar Jan F, Ishaq M, Khan S, Ihsanullah I, Ahmad I, Shakirullah. 2010. A comparative study of human health risks via consumption of food crops grown on wastewater irrigated soil (Peshawar) and relatively clean water irrigated soil (lower Dir). *Journal of Hazardous Materials*, **179** (1-3): 612–621. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.03.047>
- Allagbe H, Aitchedji M, Yadouleton A. 2014. Genese et developpement du maraichage urbain en Republique du Benin. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, **7**(1): 123–133. <http://www.ijias.issr-journals.org/>
- Amoah ID, Abubakari A, Stenstrom TA, Abaidoo RC, Seidu R. 2016. Contribution of Wastewater Irrigation to Soil Transmitted Helminths Infection among Vegetable Farmers in Kumasi, Ghana. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, **10**: 1–12. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0005161>
- Arborea S, Giannoccaro G, De Gennaro BC, Piccinni AF. 2017. Cost–Benefit Analysis of Wastewater Reuse in Puglia, Southern Italia. *Water*, **9**(175): 1–17. doi:10.3390/w9030175
- Atidegla SC, Agbossou EK. 2010. Pollutions chimique et bactériologique des eaux souterraines des exploitations maraîchères irriguées de la commune de Grand-Popo: cas des nitrates et bactéries fécales. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **4**(2): 327–337. <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v4i2.58119>
- Atidegla SC, Agbossou EK, Huat J, Glele Kakai R. 2011. Contamination métallique des légumes des périmètres maraîchers urbains et péri urbains: Cas de la commune de Grand–Popo au Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **5**(6): 2351–2361. <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v5i6.15>
- Bremner J. 2012. *Population and Food Security: Africa's Challenge*. The Population Reference Bureau: Washington, USA.
- Chary NS, Kamala CT, Raj DS. 2008. Assessing risk of heavy metals from consuming food grown on sewage irrigated soils and food chain transfer. *Ecot. Env. Saf.*, **69**(3): 513–524. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2007.04.013>
- Dégbey C, Makoutodé M, Ouendo EM, De Brouwer C. 2010. Pollution physicochimique et microbiologique de l'eau des puits dans la Commune d'Abomey-Calavi au Bénin en 2009. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **4**(6): 2257–2271. <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v4i6.64910>
- DeNicola E, Aburizaiza OS, Siddique A, Khwaja H, Carpenter DO. 2015. Climate change and water scarcity: The case of Saudi Arabia. *Annals of Global Health*, **81**(3): 342–353. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aogh.2015.08.005>
- Djouaka R, Zeukeng F, Soglo MFE, Adeoti R, Zinsou Ahoukpo OM, Tamou-Tabé TS, Paraiso A, Djegbe I, Tamo M, Manyong V, Ndindeng SA. 2016. Heavy metal contamination and faecal coliforms in peri-urban market gardening sites in benin and cameroon. *International Journal of Agriculture and Environmental Research*, **2**(5): 1013–1044. www.ijaer.in
- Esther Hellen L, Othman OC. 2016. Heavy Metal Levels in Soil, Tomatoes and Selected Vegetables from Morogoro Region, Tanzania. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*. **4**(3):82. doi: 10.11648/j.ijema.20160403.13
- Gatto D'Andrea ML, Salas Barboza AGJ, Garcés V, Rodriguez Alvarez MS, Iribarnegaray MA, Liberal VI, Fasciolo GE, Van Lier JB, Seghezzi L. 2015. The Use of (Treated) Domestic Wastewater for Irrigation: Current Situation and Future Challenges. *International Journal of Water and Wastewater Treatment*. **1**(2): 1–10. doi: <http://dx.doi.org/10.16966/2381-5299.107>
- Gemmell ME, Schmidt S. 2012. Microbiological assessment of river water used for the irrigation of fresh produce in a sub-urban community in Sobantu, South Africa. *Food Research International.*, **47**(2): 300–305. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.07.016>
- Gemmell ME, Schmidt S. 2010. Potential Links Between Irrigation Water Quality and Microbiological Quality of Food in

- Subsistence Farming in KwaZulu-Natal, South Africa. Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology. A Mendèz-Vilas. 1190-1195.
- Hounsounou EO, Tchiboza MAD, Kelome NC, Vissin EW, Mensah GA, Agbossou E. 2016. Pollution des eaux à usages domestiques dans les milieux urbains défavorisés des pays en développement : Synthèse bibliographique. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **10**(5): 2392-2412. <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v10i5.35>
- Iglesias A, Garrote L. 2015. Adaptation strategies for agricultural water management under climate change in Europe. *Agricultural Water Management.*, **155**: 113–124. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2015.03.014>.
- INSPQ (Institut National de la Santé Publique du Québec). 2003. Fiche sur le Plomb du Groupe Scientifique sur l'Eau. Institut National de Santé Publique du Québec. INSPQ; 14.
- Institut National de Statistique et d'Analyse Economique. 2013. *Synthèse des Principaux Résultats du RGPH-4 du BORGOU*. Institut National de Statistique et d'Analyse Economique: Cotonou.
- Khan K, Lu Y, Khan H, Ishtiaq M, Khan S, Waqas M, Wei L, Wang T. 2013. Heavy metals in agricultural soils and crops and their health risks in Swat District, northern Pakistan. *Food and Chemical Toxicology.*, **58**: 449–458. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2013.05.014>.
- Koumolou L, Edozha P, Montchoa S, Aklikokoub K, Lokoc F, Bokod M, Creppye EE. 2013. Health-risk market garden production linked to heavy metals in irrigation water in Benin. *Comptes Rendus Biologies*, **336**(5-6): 278-283. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2013.04.002>
- Krira A, Chakour B, Fouta H. 2001. Intensification de l'agriculture et son impact sur l'environnement. Cas des nitrates dans la nappe phréatique de M'nasra du Ghab. Actes 1er colloque sur le développement agricole et la recherche agronomique au niveau de la région du Ghab.
- Majule A, Kauzeni A, Mujwahuzi M. 2013. Exploring opportunities for climate change adaptation in semi arid areas of Tanzania: A case of Nzega District in Tabora region. *African Journal of Environmental Science and Technology*, **7**(8):758–769. <http://dx.doi.org/10.5897/AJEST12.230>
- Maleki A, Amini H, Nazmara S, Zandi S, Mahvi AH. 2014. Spatial distribution of heavy metals in soil, water, and vegetables of farms in Sanandaj, Kurdistan, Iran. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, **12**(1): 136. <https://doi.org/10.1186/s40201-014-0136-0>
- Nanfack NAC, Fonteh FA, Vincent KP, Katte B, Fogoh J, Muafor. 2014. Eaux non conventionnelles: un risque ou une solution aux problèmes d'eau pour les classes pauvres. *Larhyss Journal.*, **17**: 47-64.
- Ndinwa CCG, Chukumah OC, Edafe EA, Obarakpor KI, Morka W, Osubor-Ndinwa PN. 2012. Physio-chemical and Bacteriological Characteristics of Bottled and Sachet Brand of packaged Water in Warri and Abraka , Southern Nigeria. *Journal of Environmental Management and Safety*, **3**(2):145–160. doi <http://dx.doi.org/10.16966/2381-5299.107>
- Ndounla J. 2007. Caractéristiques biologiques et physico-chimiques de l'eau de consommation et influence du mode d'approvisionnement sur la santé des populations à Dschang. Master thesis, Université de Dschang, Dschang, p. 105.
- Nguendo Yongsy HB. 2010. Suffering for water: Access to drinking water and associated health risks in Cameroon. *J Health Popul Nutr.*, **28**: 424-435.
- Orsini F, Kahane R, Nono-Womdim R, Gianquinto G. 2013. Urban agriculture in the developing world: A review. *Agronomy for Sustainable Development.*, **33**(4): 695–720.
- Ozer P, Hountondji YC, Ahomadegbe MA, Djaby B, Thiry A, De Loguevillef. 2013. Évolution Climatique, Perception Et Adaptation Des Communautés Rurales Du Plateau D'Abomey (Benin). XXVIème colloque de l'Association Internationale de Climatologie, 440–445.

- Pazou Yehouenou EA, Soton A, Azocli D, Acakpo H, Boco M, Fourn L, Houinsa D, Keke JC, Fayomi B. 2010. Contamination du sol, de l'eau et des produits maraîchers par des substances toxiques et des métaux lourds sur le site de Houéyiho (Cotonou) en République du Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **4**: 2160–2168. <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v4i6.64951>
- Rodier J, Legube B, Merlet N. 2009. *L'Analyse de l'Eau*. Edition DUNOD: Paris; 749-775
- Sékara A, Poniedziaek M, Ciura J, Jędrszczyk E. 2005. Cadmium and Lead Accumulation and Distribution in the Organs of Nine Crops: Implications for Phytoremediation. *Polish Journal of Environmental Studies*, **14**(4): 509–516.
- United Nation. 2015. *World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables* ESA/PMP.241: New York.
- Wognin AS, Ouffoue SK, Assemand EF, Tano K, Koffi-Nevry R. 2013. Perception des risques sanitaires dans le maraîchage à Abidjan, Côte d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **7**(5):1829–1837. <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v7i5.4>
- Yolou I, Yabi I, Kombieni F, Tovihoudji PG, Yabi JA, Paraiso AA, Afouda F. 2015. Maraîchage en milieu urbain à Parakou au Nord-Bénin et sa rentabilité économique. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, **19**(2): 290–302. <http://www.ijisr.issr-journals.org/>