



Qualité des eaux pluviales stockées dans les citernes pour la consommation dans la commune de Toffo : cas de l'arrondissement de Damè

DOVONOU Edia Flavien¹, HOUNSOU .B. Mathieu³, SAMBIENOU W. Gédéon¹, ADANDEDJAN Constant², HOUESSOUGA Farida¹, MAMA Daouda¹

¹Laboratoire d'Hydrologie Appliquée (LHA) à l'Institut National de l'Eau de l'Université d'Abomey-Calavi 01 BP 526 Cotonou (Bénin)

²Laboratoire de Contrôle de la Qualité des Eaux et Aliments (LCQEA) de la Direction Nationale de la Santé Publique (DNSP) Cotonou (Bénin)

³Laboratoire d'Hydraulique et de Maitrise de l'Eau (LHME) à l'Institut National de l'Eau de l'Université d'Abomey-Calavi 01 BP 526 Cotonou (Bénin)

*Auteur correspondant e-mail : dovflav@yahoo.fr Tél(00229) 97386246 / 95 33 98 81

Original submitted in on 14th July 2020. Published online at www.m.elewa.org/journals/ on 31st October 2020
<https://doi.org/10.35759/JABs.154.4>

RESUME

Objectifs : Le but visé par cette recherche est d'apprécier la qualité des eaux de pluie stockées dans les citernes à Damè afin de prévenir les pathologies sur les populations.

Méthodologie et Résultats : Les enquêtes menées auprès des ménages ont été complétées par une campagne d'analyse. Vingt (20) citernes ont été ciblées et ont permis de d'apprécier la qualité bactériologique et physico-chimique des eaux stockées au vu des usages effectifs qui en sont faits. Les enquêtes menées auprès des ménages ont montré un manque d'hygiène aux alentours des citernes. Sur un total de 20 échantillons d'eau analysés, un seul échantillon est exempt de toute contamination.

Conclusion et application : La consommation de ces eaux expose donc les usagers aux maladies hydriques tels que les gastro-entérites et bien d'autres pathologies. Toutefois, au regard de la difficulté d'accès de ces zones aux sources d'eau potable et grâce à l'état non trouble de ces eaux, ces dernières peuvent être consommées après un traitement préalable au chlore.

Mots clés : Citerne, physico-chimique, bactériologie, risque sanitaire, Toffo

Physico-chemical and bacteriological characterization of Rain water stored in tanks for consumption in the community of Toffo: case of the borough of Damè

ABSTRACT

Objectives: The aim of this research is to assess the quality of the rainwater stored in the cisterns in Damè in order to prevent pathologies on the populations.

Methodology and Results: In addition to household surveys, a water sampling campaign was conducted. Twenty (20) tanks were analyzed to assess the bacteriological and physicochemical quality of the stored water used by the households for their various needs. Household surveys showed a lack of hygiene around the reservoirs. Out of a total of 20 samples analyzed, only one sample is free of contamination.

Conclusion: The consumption of these waters therefore exposes users to water-borne diseases such as gastroenteritis and many other pathologies. However, in view of the difficulties to access safe drinking water in these areas, water stored in these tanks are not turbid and could f these waters, consumed after treatment. We strongly advise a preliminary treatment with chlorine of the waters before their uses.

Key words: Tank, physico-chemical, bacteriology, health risk, Toffo.

INTRODUCTION

L'eau, tout comme l'air, est une denrée indispensable à la vie. En Afrique et en Asie, dans les villes secondaires et en milieu rural, l'eau potable est inaccessible pour la majorité des populations (Bengaibona, 2010). Selon l'OMS (2015), plusieurs centaines de millions de personnes n'ont pas de l'eau potable à disposition et cette situation est plus accentuée dans les pays arides. En effet, la qualité de l'eau peut affecter directement ou indirectement la santé humaine (Bengaibona, 2010). Plusieurs microbes pathogènes causent des maladies comme : le choléra, la poliomyélite et les hépatites aiguës. Les germes responsables de ces pathologies sont présents dans l'eau par contamination fécale des points d'eau. Selon l'OMS (2016), une eau saine est nécessaire à la vie, à l'hygiène, à la prévention de beaucoup de maladies. Elle constitue aussi un patrimoine de la nation, car les besoins en eau varient en fonction de l'espace géographique et du niveau de développement. À l'instar d'autres pays

africains, l'Etat béninois subdivisé en 77 communes a consenti beaucoup de ressources financières dans le secteur d'approvisionnement en eau potable tant en milieu urbain qu'en milieu rural. L'eau potable est mise à la disposition des populations de Toffo par les ouvrages hydrauliques notamment les adductions d'eau villageoise (AEV) (PCEAU, 2013), qui sont mal répartis dans la commune d'autant plus que les habitants de certains arrondissements comme Damè continuent de parcourir des kilomètres pour s'approvisionner en eau potable surtout en saison sèche. Pour pouvoir satisfaire leurs besoins, les habitants construisent dans leurs maisons des citernes afin de stocker l'eau de pluie qu'ils utilisent dans la plupart des cas comme unique source d'alimentation en eau. Ces eaux de pluie stockées qui leurs servent de sources sont exposées à des contaminations mettant ainsi en danger la santé des consommateurs.

MATERIEL ET METHODES

Zone d'étude et échantillonnage : Toffo est une commune de département de l'Atlantique. Elle a une étendue de 492 km² et est limitée au Nord par la

commune de Zogbodomey, au Sud par la commune d'Allada, à l'Est par celle de Zè et à l'Ouest par le fleuve Couffo (Figure 1).

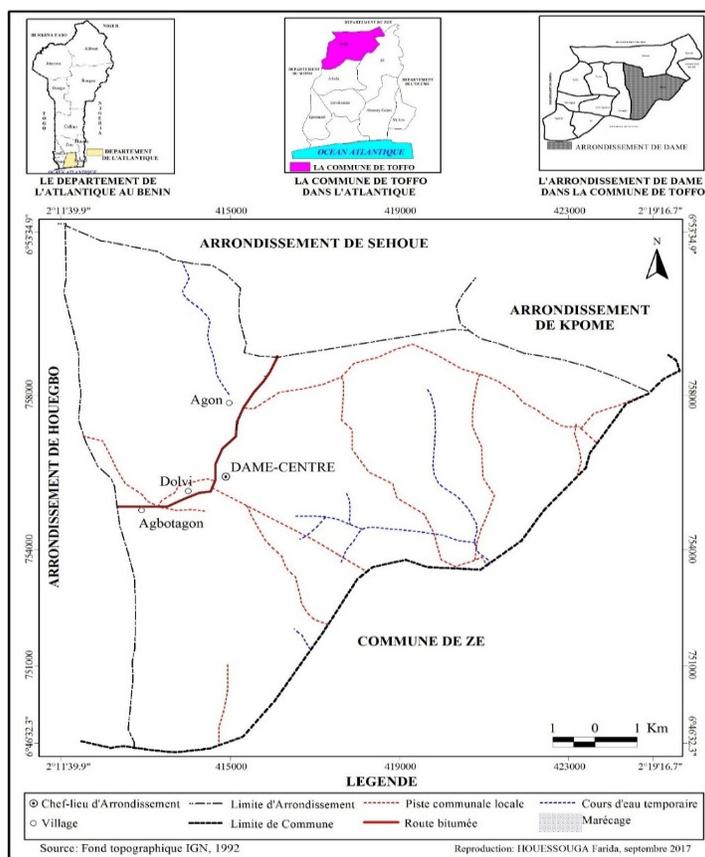


Figure 1 : Situation géographique de la commune de Toffo

La commune de Toffo comporte 10 arrondissements dont celui de Damè. L'arrondissement de Damè d'une superficie de 94,07 Km². Il comporte quatre villages : Agon ; Agbotagon ; Damè centre et Dolvi. Damè centre est le chef-lieu de l'arrondissement.

Préparation des échantillons d'eau et analyse : Vingt prélèvements d'eau de citerne ont été effectués entre Juin 2017 et juillet 2017. L'échantillonnage est basé sur des puits contenant les eaux de pluie. Les prélèvements destinés aux analyses physico-chimiques ont été réalisés dans des flacons stérilisés de capacité 1,5L. Pour les prélèvements destinés aux analyses bactériologiques, des flacons de verre brun borosilicaté de 500 mL à bouchage émeri stérilisés ont été utilisés. Ces flacons qui ne sont pas remplis à ras sont nettoyés, étiquetés et placés dans une glacière pour être ramenés au LCQEA.

Analyse physico-chimique : L'analyse des paramètres physico-chimiques concerne le pH, la turbidité, la conductivité et la température.

Analyse bactériologique : Les analyses bactériologiques ont débuté le même jour, 2 heures

après les prélèvements. Les échantillons ont été conservés dans un réfrigérateur à 5°C jusqu'à la fin des interprétations. Réalisées au même laboratoire, ces analyses portent sur le dénombrement des germes totaux, la recherche de la bactérie E. Coli et de coliformes fécaux. Pour la recherche et le dénombrement des germes totaux, les travaux ont été réalisés suivant la norme NF EN ISO 6222 de 07/99. Un millilitre (1 mL) d'eau de chaque échantillon a été prélevé pour hydrater une membrane de Pétrifilm de 0,45 µ de diamètre. La membrane a été incubée à 37°C. Le dénombrement des colonies rouges a été réalisé 24 heures après l'incubation. Quant à la recherche et le dénombrement d'E. Coli, c'est la norme NF EN ISO 9308-1 de 09/00 qui a servi de référence. Un millilitre (1mL) d'eau de chaque échantillon a été prélevé pour hydrater le Pétrifilm d'E. Coli. Après avoir filtré 100 mL d'eau de chaque échantillon à l'aide d'une membrane, cette dernière a été déposée sur le Pétrifilm. L'incubation cette fois-ci a été faite pendant 48 heures mais toujours à 37 °C. Les résultats obtenus ont été interprétés et analysés selon les directives de l'OMS.

RESULTATS ET DISCUSSION

Disposition spatiale des citernes : Cette enquête nous a permis de visiter quarante-cinq (45) ménages dont vingt-six (26) à Agbotagon, quatorze (14) à Agon et cinq (05) à Dolvi. Elle nous a permis d'interroger 45 personnes qui sont des propriétaires de ces citernes.

Elle a eu pour objectif de rechercher les facteurs qui peuvent altérer la qualité de l'eau des citernes. Le tableau 1 renseigne sur la répartition des citernes visitées.

Tableau 1 : Répartition des citernes visitées

Villages	Nombre de ménage interrogés	Nombre de personnes interrogées par ménage
Agbotagon	26	1
Agon	14	1
Dolvi	5	1
Total	45	45

Caractérisation des dispositifs de citerne : Au vue des habitats qui sont de types traditionnels et de la zone qui se trouve être non urbanisées, les citernes sont conçues traditionnellement et sont parfois couvertes. La toiture des maisons sert de surface de captage reliée à un système de gouttières fait en tôle collectant les eaux

de pluie. Au bout de ce système de gouttières se trouve un conduit lui aussi en feuille de tôle, qui draine les eaux de pluie vers un réservoir de stockage cylindrique construit sous forme de puits dont les parois sont étanchéifiées au ciment. Un exemple de ce système est illustré par la photo 1.



Photo 1 : Citerne traditionnelle dans l'arrondissement de Damé (cliché Houéssouga, 2017)

Hygiène au niveau des citernes : Pendant l'enquête nous avons constaté que 35 % des citernes ne sont pas couvertes. Parmi celles qui sont couvertes 22% le sont mal. Certaines avec des tôles rouillées et d'autres avec des branchages de palmiers à huile soutenues par des bois de teck pourris. Les citernes non couvertes ou mal couvertes sont exposées dans un environnement où la défécation à l'air libre est courante et le vent provoque souvent des poussières. Les citernes sont nettoyées une fois l'année chez les individus qui épuisent leurs stocks avant la nouvelle saison de pluie tandis que dans les autres cas le nettoyage se fait au hasard après une

longue durée (trois ans au moins). Malgré ces conditions de collectes, ces eaux de pluie ne sont traitées, ni après le stockage dans les citernes, ni avant l'utilisation. Elles sont donc exposées à une contamination microbienne ce qui présente un risque sanitaire pour les usagers. Usage de l'eau de citerne : L'indisponibilité de la ressource en eau potable dans l'arrondissement de Damé et le manque de moyens financiers contraignent la population à utiliser les eaux des citernes pour satisfaire leurs besoins. La figure 2 présente les proportions des différents usages.

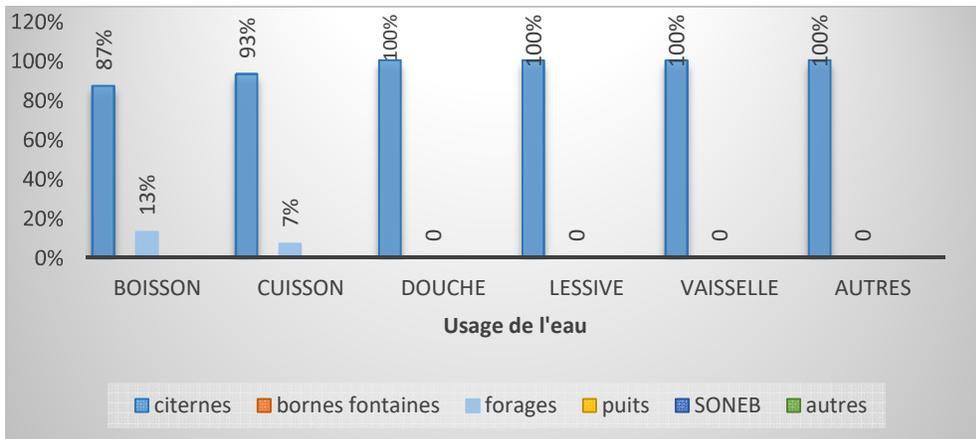


Figure 2 : Usages de l'eau dans l'arrondissement de Damè

La Figure 2 montre que l'eau de citerne sert pour tous les usages domestiques y compris la boisson et que la population n'utilise pratiquement que cette eau à plein temps.

Les maladies récurrentes chez les enquêtés : On constate que les maladies les plus diagnostiquées au sein de la population de Damè sont le paludisme, le choléra, la fièvre typhoïde, les affections

dermatologiques (Figure 3). Ces maladies sont d'origine hydrique et seraient dues au manque d'hygiène au niveau des citernes. En effet, les citernes non couvertes constituent un habitat pour les moustiques dont la pique entraîne le paludisme. Les autres maladies telles que les affections dermatologiques sont liées à la qualité de l'eau.

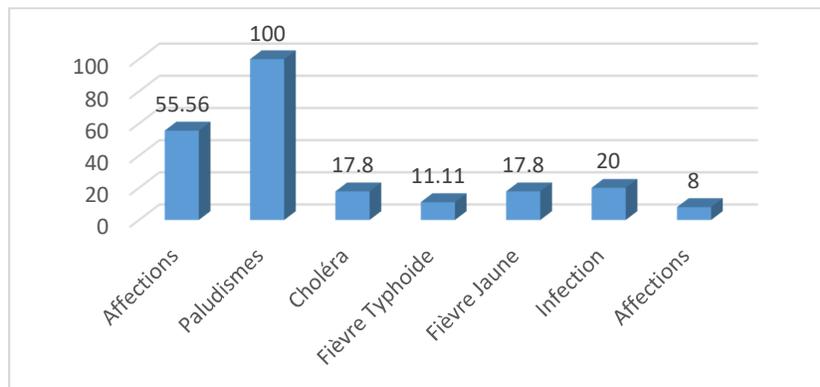


Figure 3 : Fréquence des maladies hydriques et des maladies liées à l'eau dans l'arrondissement de Damè

Résultats de l'analyse des chimiques : Afin de faire la caractérisation physico-chimique de l'eau stockée dans les citernes nous avons mesuré la turbidité, la conductivité et le pH. Nous avons constaté après

l'analyse que seule la turbidité respecte les normes requises par l'OMS et le Bénin.

Le pH : La Figure 4 montre la variation des différentes valeurs du pH mesurées pour chaque citerne numérotée de 1 à 20.

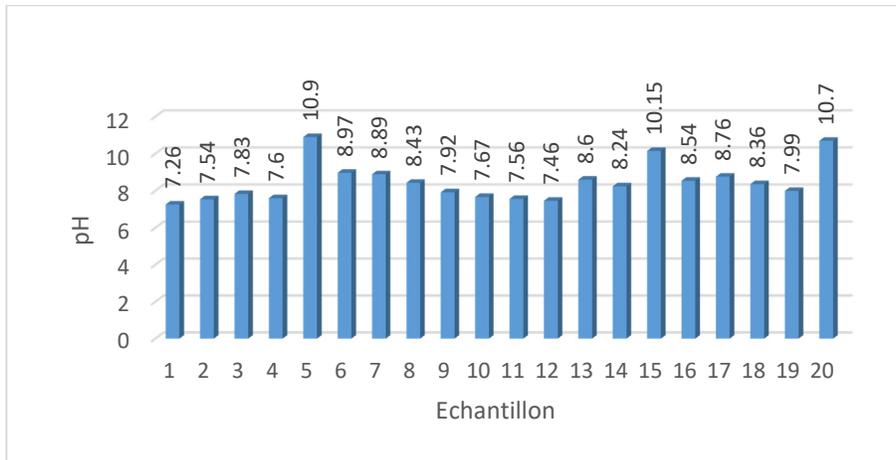


Figure 4 : pH de l'eau des différentes citernes échantillonnées

Le pH des différents échantillons d'eau stockée dans les citernes mesurées présente un minimum de 7,46 et un maximum de 10,9. Trente-cinq pour cent de ces valeurs sont plus élevées que les normes béninoises et celles de l'OMS qui se situent entre 6,5 et 8,5. L'élévation des valeurs de pH (basique) serait due à l'exposition des citernes à diverses sortes de particules provenant de

l'atmosphère. L'utilisation de ces eaux de valeur de pH élevée pourrait provoquer des dermatoses.

La conductivité électrique : La figure 5 montre la variation des différentes valeurs de la conductivité électrique mesurée pour chaque citerne échantillonnée et numéroté de 1 à 20.

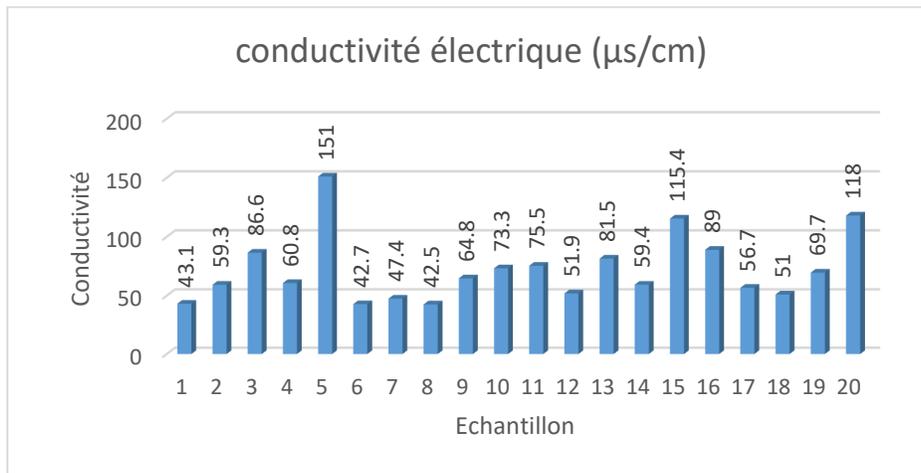


Figure 5 : Conductivité électrique de l'eau des différents puits échantillonnés

La mesure de la conductivité électrique nous a permis d'apprécier très rapidement, mais très approximativement la minéralisation. Les données de l'analyse montrent une valeur minimale de 42,5 µs/cm et un maximum de 151 µs/cm. Ces différentes valeurs montrent que les eaux des citernes ont une minéralisation faible. Cette faible minéralisation serait due au fait que l'eau de pluie ne s'est pas chargée en matière organique et minérale dissoute.

La turbidité : La turbidité d'une eau caractérise sa teneur en matière en suspension. La valeur maximale

tolérée par l'OMS est de 5 NTU (Figure 6). Les valeurs de l'analyse montrent une turbidité allant de 0,67 à 2,95 NTU. Ces données nous montrent que les eaux des citernes analysées ne comportent pas assez de matières en suspension. Elles pourraient être donc considérées comme source d'eau de consommation après un traitement au chlore grâce à ces valeurs de turbidité faible. Comme l'eau de citerne reste calme, les débris se déposent au fond par décantation et l'eau qui surnage reste claire.

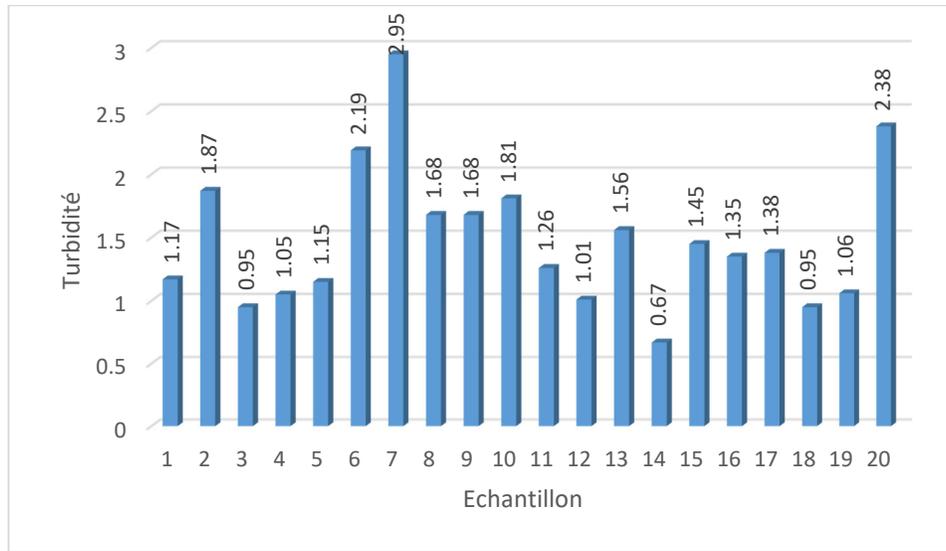


Figure 6 : Variation de la turbidité sur les différents sites

Qualité bactériologique de l'eau des citernes : La recherche des paramètres de contamination fécale est l'application générale pour la recherche des germes pathogènes dans l'eau. Cette recherche a été faite dans le laboratoire de la DNSP. Les résultats ont montré

qu'une seule citerne respecte les normes de l'OMS et du Bénin donc exempte de contamination bactériologique.

Les germes banals : Les eaux de citernes échantillonnées sont contaminées à 99,95 % par les germes banals (50 à 7776 UFC/ml). Ces résultats sont présentés sur la figure 7.

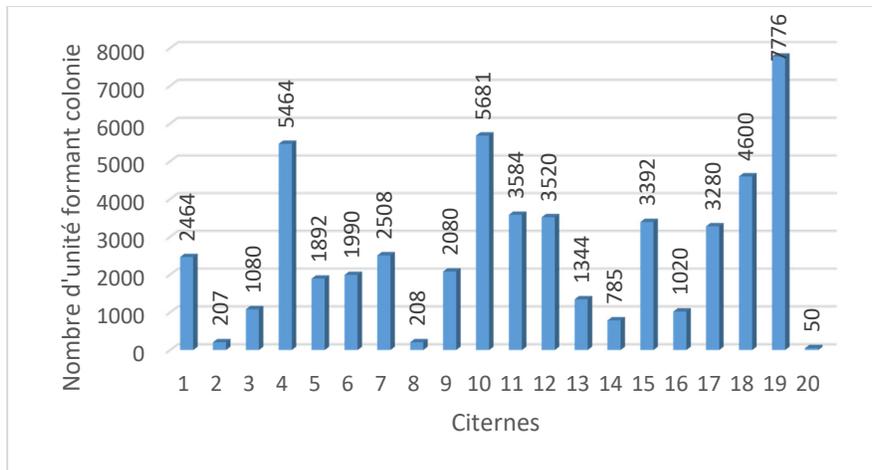


Figure 7 : Germes banals dans les eaux des citernes

Une seule citerne est à la limite du seuil toléré par les normes, en dehors de celle-ci toutes les autres ont une flore totale anormale. Ces taux témoignent des conditions propices de développement des germes.

Coliformes fécaux et E. Coli : 80% des échantillons d'eaux contiennent d'Escherichia coli (0 à 1980 UFC/100 ml et à 90 % coliformes fécaux (0 à 3520 UFC/100 ml). L'existence de coliformes fécaux et d'E. Coli confirme que ces eaux sont polluées par les matières fécales.

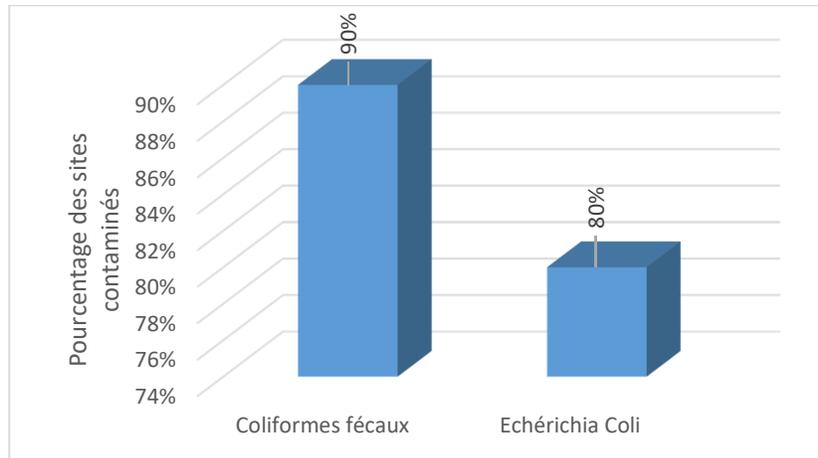


Figure 8 : Coliformes Fécaux et E. Coli dans les eaux des citernes

L'appréciation de la qualité bactériologique de ces eaux selon les normes béninoises et celles de l'OMS révèle que la grande majorité des échantillons d'eaux sont de mauvaise qualité. Sur ce, les eaux des citernes analysées ne peuvent être consommées qu'après une

désinfection au chlore et aussi avant toute utilisation afin de permettre l'élimination de ces germes et de conférer à l'eau une protection rémanente due à la présence du chlore résiduel contenu dans l'eau.

DISCUSSION

Le but visé par la présente recherche a été d'étudier quelques caractéristiques des eaux de pluies stockées dans les citernes à Damè afin d'évaluer quelques conséquences liées à leurs utilisations. Ainsi, on constate que dans l'arrondissement de Damè, l'utilisation des eaux de pluie semble être une contrainte qui vient compenser le manque de point d'approvisionnement en eau potable. D'après les enquêtes et les résultats d'analyses, ces eaux ne sont pas de bonne qualité mais peuvent quand même être utilisées après chloration grâce à leur faible turbidité. Selon Manizan *et al.*, (2010) beaucoup de facteurs contribuent à la dégradation de la qualité de l'eau de pluie. Pendant notre enquête, nous avons constaté qu'aucune des citernes enquêtées ne dispose de filtre au bout de l'entonnoir. De même la majorité des citernes n'est pas couverte. Cette situation pourrait être une potentielle source de contamination microbienne et même de pollution chimique. La contamination de ces eaux est donc due à plusieurs paramètres. En ce qui concerne le pH de ces eaux, on remarque qu'il est basique car situé entre 7,46 à 10,9. Ces résultats se rapprochent des valeurs obtenues par Bengaibona (2010) au Burkina Faso qui retrouve un pH basique de 8,9 à 10,6 et sont légèrement en dessus des valeurs de Manizan *et al.* (2010) en Belgique avec des eaux de puit ayant une valeur moyenne de pH qui est de 7,4. Il convient de souligner qu'une eau de pH basique n'a pas

d'effet direct sur la santé mais aura tendance à diminuer l'efficacité de la désinfection car un pH basique influe directement sur la dose du chlore à appliquer qui devra être plus forte (en pH basique). Les eaux de valeur de pH supérieur à 9, peuvent quand même provoquer des irritations oculaires et une aggravation des affections cutanées. Les chiffres des conductivités (conductivité moyenne de 71,98 $\mu\text{S}/\text{cm}$) sont relativement bas. Il en est de même pour les résultats de Manizan *et al.*, (2010) avec une valeur de conductivité moyenne de 137,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$, par contre Bengaibona (2010) a obtenu des valeurs de conductivité moyennes et tendant vers les normes requises. Ceci indique que l'eau de pluie est pauvre en éléments chimiques dissous. Cette faible minéralisation serait due au fait que l'eau de pluie n'est pas chargée en matière organique, ni minérale, puisque l'atmosphère est moins polluée en milieu rural. Selon l'OMS (2016), bien que la presque totalité des coliformes fécaux et germes banals soient non pathogènes, les eaux de consommation doivent respecter scrupuleusement les valeurs suivantes : germes banals 50 UFC/ml, coliformes thermotolérants 0 UFC/100ml, *Escherichia coli* 0 UFC/100ml. Car les coliformes fécaux sont des indicateurs de contaminations fécales. En effet, l'intérêt de la détection de ces coliformes réside dans le fait qu'ils sont un peu partout dans la nature. *Escherichia coli* l'un de ces coliformes est le meilleur indicateur de contamination fécale. L'analyse de cette étude montre

que 99,95% des eaux sont caractérisées par une flore totale élevée et 90% par les coliformes fécaux. Ces valeurs élevées de coliformes fécaux se rapprochent un peu de celles de Bengaibona (2010) qui est de 61% par contre chez Manizan *et al.*, (2010) seulement 28,5% des eaux analysées comportent des coliformes fécaux. Ceci révèle que la contamination dépend aussi du cadre de vie des usagers, de l'entretien et pourrait être de trois origines. Il s'agit de contamination d'origine atmosphérique, tellurique et fécale. La contamination atmosphérique, elle serait due au fait que l'eau de pluie traverse l'atmosphère en se chargeant des microorganismes qui y sont. La contamination d'origine tellurique serait due aux poussières du sol comportant des germes emportés par l'air sur le toit, lessivés par l'eau de pluie ou directement dans la citerne à cause de non couverture des citernes, de l'absence de filtre au niveau des entonnoirs. Enfin la contamination serait fécale à cause des germes fécaux issus de la défécation à l'air libre et emportés dans la poussière par le vent. La présence d'*Escherichia coli* dans la majorité des échantillons nous confirme que la contamination est en grande partie d'origine fécale et serait à la base de certaines maladies constatées chez les usagers telles que les choléra, les infections et affections dermatologiques d'autant plus que ces derniers n'apportent aucun traitement avant utilisation de ces

CONCLUSION

Ces résultats montrent que les eaux de pluie recueillies des toitures sont sujettes à la contamination microbienne et pourrait renfermer de germes pathogènes. Mais elles peuvent être traitées avec une chloration dans chaque ménage et utilisées comme une eau de consommation puisqu'elles ne sont pas troubles. Et aussi, beaucoup de

REMERCIEMENTS

Les auteurs de cette recherche remercie le Laboratoire d'Hydrologie Appliquée de l'Institut National de l'Eau pour son soutien dans les analyses des échantillons.

REFERENCES

Boris Bérenger Bengaibona, 2010. Analyse comparée des qualités microbiologique et physico-chimique des eaux de pluie stockées dans des citernes en Ferro ciment : Cas des impluviums de DORI, Mémoire de fin d'étude en master spécialisé, Génie Sanitaire et Environnement, p56.

Constant Cossi ADANDEDJI, 2005. Contribution à l'étude de la qualité bactériologique des eaux des impluviums : cas des citernes hors sol

eaux. Plusieurs études ont montré la pollution des eaux de consommation par les microorganismes. Les travaux réalisées par Djuikom *et al.* (2009) ; Mbawala *et al.*, (2010) ; Adandedjan (2005) ; Hounsinou *et al.*, (2015) respectivement à Douala (Cameroun), Ngaoundéré (Cameroun), Martil (Maroc) ; Lomé (Togo) ; Abomey-calavi (Bénin) ont démontré la contamination fécale par la présence des Coliformes totaux, des Coliformes thermotolérants, des Entérocoques fécaux et du *Clostridium perfringens* dans les eaux de puits. La flore totale y a aussi été dénombrée Adandedjan (2005). Ces eaux contiennent également de nombreux germes pathogènes parmi lesquelles figurent les bactéries comme *Salmonella sp*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Pseudomonas aeruginosa* (Mbawala *et al.*, 2010) ; *Shigella spp* , *Staphylococcus aureus* et *Candida albicans* (Degbey *et al.*, 2010) ; *Proteus penneri*, *Stenotrophomonas maltophilia* , *Citrobacter freundii* (Nanga *et al.*, 2014). Les eaux de puits sont de qualité microbienne plus défectueuse que celle des eaux de forage (Dovonou, 2012 ; Adandedjan 2005). Dovonou (2012) et Adandedjan (2015) ont trouvé une différence significative entre les eaux de puits de différentes localités. Les eaux des citernes étant mobilisées par l'Homme, elles sont par conséquent plus vulnérables aux divers risques de contamination si les mesures d'hygiène ne s'y accompagnent.

précautions devraient être utilisées pour la potabilisation de ces eaux puisque l'eau de citerne reste une réelle source alternative et permanente de consommation en eau en dépit de la rareté d'adduction d'eau potable fonctionnelle dans l'arrondissement de Damè.

implantées dans certains écoles et centre de santé du zou, mémoire pour l'obtention du DESS, page 71 à 74

Djuikom E, Temgoua E, Jugnia L, Nola M, Baane M. 2009. Pollution bactériologique des puits d'eau utilisés par les populations dans la Communauté Urbaine de Douala Cameroun. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 3(5) : 967-978.

Dovonou F.E, 2012. Diagnostic qualitatif et environnemental de l'aquifère superficiel du

- champ de captage intensif de Godomey au Bénin (Afrique de l'Ouest) : éléments pour un plan d'actions stratégiques de protection des ressources en eau souterraine exploitées. Doctorat ès Science en Hydrologie et Gestion Intégrée des Ressources en Eau
- El Ouedghiri K, El Oualti A, El Ouchy M, Zerrouq F, Ouazzani Chahdi F, El Ouali Lalami A, 2014 . Risques sanitaires liés aux composés chimiques contenus dans l'eau de boisson dans la ville de Fès : Cas des ions nitrates et nitrites). *J. Mater. Environ. Sci.*, 5 (S1): 2284-2292.
- Hounsinou P, Mama D, Dovonou F. Alasane A, 2015. Seasonal evolution of the quality microbiological of the natural waters in the township of Abomey-Calavi (South Benin). *British Journal of Earth Sciences Research*, 3(1): 30-41.
- Mahamat SAM, Maoudombaye T, Abdelsalam T, Ndoumtamia G, Mbawala A Abdou, Ngassoum M-B, 2010. Evaluation de la pollution physicochimique et microbienne des eaux de puits de Dang-Ngaoundéré (Cameroun). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 4(6): 1962-1975.
- Niamien Pascal MANIZAN et Francis ROSILLON, 2010. Contribution à la caractérisation de la qualité sanitaire des eaux de pluie collectées dans des citernes domestiques dans la région wallonne en Belgique, Afrique *SCIENCE* 06(1) (2010) 38 - 46 ISSN 1813-548X, p 40 à 45
- Norme NF EN ISO 6222 de 07/9 : Qualité de l'eau Dénombrement des micro-organismes revivifiables - Comptage des colonies par ensemencement dans un milieu de culture nutritif gélosé AFNOR
- Organisation mondiale de la santé (OMS) 2016. *Water and Sanitation Related Diseases fact.*
- PNUD (Programme des Nations Unies pour le Développement). 2015. *Rapport mondial sur le développement humain (PNUD) 2006. Au-delà de la pénurie : Pouvoir, pauvreté et la crise mondiale de l'eau*, p. 422.