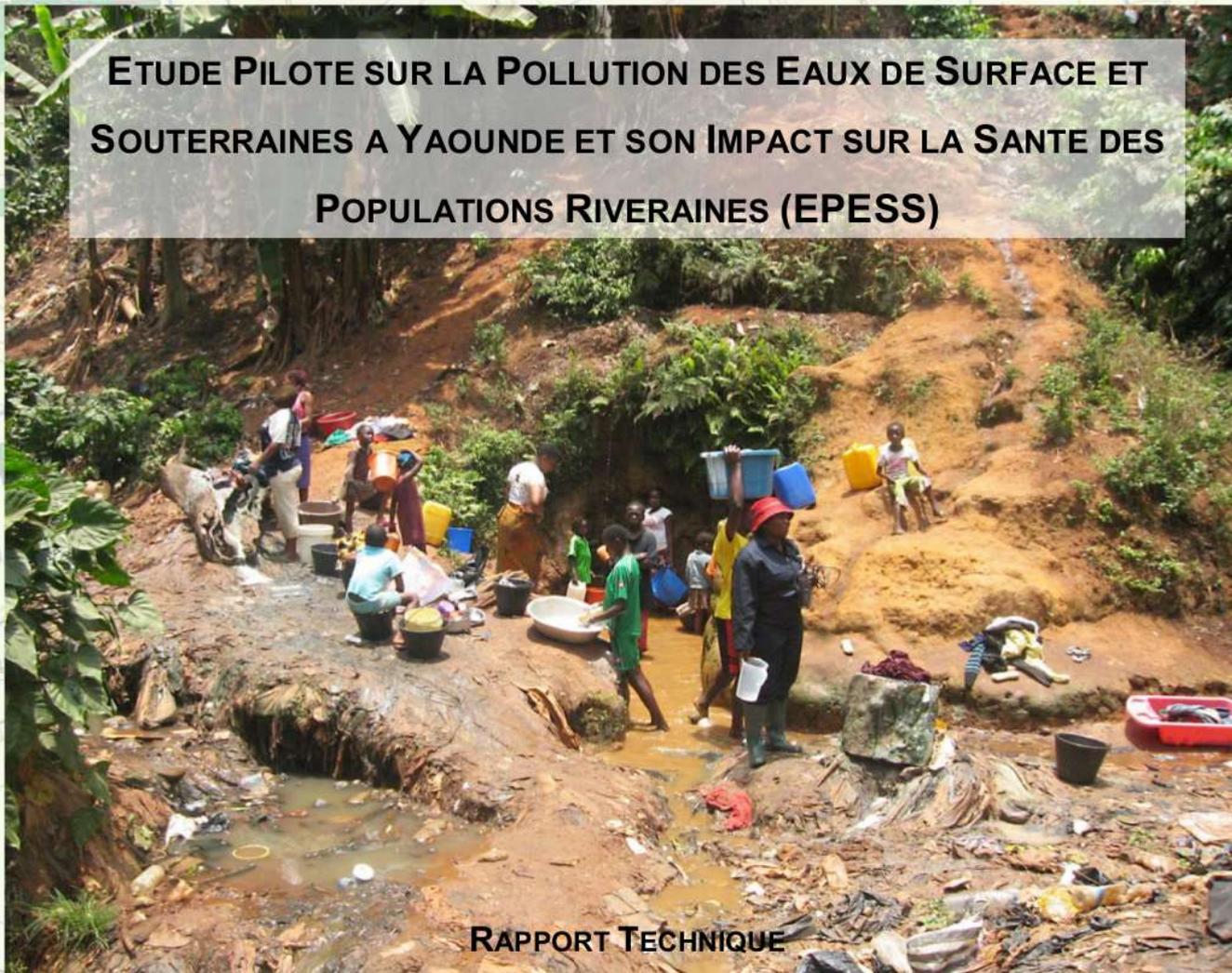


REPUBLIQUE DU CAMEROUN

PAIX – TRAVAIL – PATRIE



**ETUDE PILOTE SUR LA POLLUTION DES EAUX DE SURFACE ET SOUTERRAINES A YAOUNDE ET SON IMPACT SUR LA SANTE DES POPULATIONS RIVERAINES (EPESS)**



**RAPPORT TECHNIQUE**

INSTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE

INSTITUT FEDERAL DES GEOSCIENCES ET DES RESSOURCES NATURELLES



Yaoundé — Hanovre — Bonn

Jun 2013



REPUBLIQUE DU CAMEROUN

PAIX – TRAVAIL – PATRIE



**ETUDE PILOTE SUR LA POLLUTION DES EAUX DE SURFACE ET  
SOUTERRAINES A YAOUNDE ET SON IMPACT SUR LA SANTE DES  
POPULATIONS RIVERAINES (EPESS)**

RAPPORT TECHNIQUE

INSTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE

INSTITUT FEDERAL DES GEOSCIENCES ET  
DES RESSOURCES NATURELLES



Yaoundé — Hanovre — Bonn  
**Juin 2013**



Commanditée par	Ministère Fédéral de la Coopération Economique et du Développement - Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ), Bonn	
Numéro du Projet	BMZ PN 2002.3510.1 BGR 05-2203-54	
Agences de mise en oeuvre	<p>Institut National de la Statistique (INS), Yaoundé Département des Statistiques Démographiques et Sociales</p> <p>Institut Fédéral des Géosciences et des Ressources Naturelles Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover</p> <p>Avec la participation de:</p> <p>Université de Bonn, Institut d'Hygiène et de la Santé Publique (IHPH) Universität Bonn, Institut für Hygiene und öffentliche Gesundheit</p> <p>Université de Yaoundé 1, Faculté de Sciences Unité de Recherche sur les Eaux Usées (WWRU)</p> <p>Avec la contribution de:</p> <p>Institut de Recherche Géologiques et Minières (IRGM), Yaoundé</p>	    
Pages (incl. annexe):	335 (194 texte)	
Tableaux 75, figures 119, cartes 24, annexes 11		
Lieux et date de publication:	Yaoundé, Hanovre, Bonn - Juin 2013	



## REMERCIEMENTS

La préservation de l'environnement et la lutte contre les changements climatiques occupent les devants de la scène internationale depuis la Conférence des Nations Unies pour l'Environnement et le Développement (Sommet de la terre) organisée à Rio de Janeiro au Brésil en 1992, plus connue sous le nom de Conférence de Rio. Cette Conférence a constitué une étape décisive de la mobilisation de la communauté internationale. Vingt ans plus tard, la Conférence Internationale sur le Développement Durable organisée en 2012 à Rio de Janeiro (Conférence de Rio+20) a été l'occasion d'évaluer les progrès accomplis et de se fixer des objectifs à atteindre.

Le Cameroun s'est impliqué dans cette mouvance et a adopté en 1996 une loi cadre sur l'environnement. Ce texte fixe le cadre général de gestion de l'environnement au Cameroun, prescrit entre autres les modalités, les normes pour la protection et la gestion rationnelle des biens et services environnementaux et la conservation des ressources naturelles. Il met également en place les structures institutionnelles et d'autres mécanismes de mise en œuvre appropriés.

La liste de ces mécanismes inclut un système d'informations environnementales comportant une base de données sur les différents aspects de l'environnement, au niveau national et international, en vue de faciliter la planification et la gestion rationnelle de l'environnement (article 15 de la loi cadre relative à la gestion de l'environnement). La création en 2008 d'un Observatoire National sur les Changements Climatiques (ONAC) participe de cette volonté des autorités camerounaises de suivre et d'évaluer, en temps réels, les risques environnementaux liés aux changements climatiques et de préconiser des actions appropriées, en coopération avec les autres pays concernés.

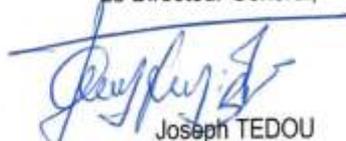
C'est dans ce cadre que l'étude pilote sur la pollution des eaux de surface et souterraines (en abrégé EPESS) à Yaoundé et son impact sur la santé des populations riveraines a été réalisée. Elle a été conduite par l'Institut National de la Statistique (INS), avec l'appui financier et technique du Ministère Fédéral allemand de la Coopération Economique et du Développement, à travers l'Institut Fédéral des Géosciences et des Ressources Naturelles (BGR) et l'Institut d'Hygiène et de la Santé Publique de l'Université de Bonn.

Le succès de l'EPESS sur le terrain est à attribuer d'une part, à la participation active des populations enquêtées de la zone d'étude et du reste de Yaoundé, et d'autre part, à l'implication effective de l'Université de Yaoundé I, à travers son unité de recherche sur les eaux usées ainsi que de l'Institut de Recherches Géologiques et Minières (IRGM). A ces deux institutions, nous adressons nos sincères remerciements pour leur disponibilité et l'assistance qu'elles ont apportée à la réussite de cette opération.

De même, nous adressons nos remerciements aux responsables du Centre Pasteur du Cameroun, en particulier au Pr Dominique BAUDON et à ses collaboratrices Dr Marie Madeleine GUIMOU et Dr Marguerite WOUAFO pour les analyses biochimiques et microbiologiques des échantillons d'eau effectuées, ainsi qu'à toute l'équipe de la BGR et de l'Université de Bonn, particulièrement au Pr Thomas HIMMELBACH, Dr Dirk KÜSTER, Dr Robert KRINGEL, Dr Andrea RECHENBURG et Mme Stephanie BELLENBERG pour leurs contributions techniques.

A toute l'équipe camerounaise mise en place pour la réalisation de cette EPESS conduite par Madame Marie Antoinette FOMO, Chef de Cellule de la cartographie et des statistiques environnementales, Coordonnateur technique, sous la supervision de M. Paul Roger LIBITE, Chef de département des statistiques démographiques et sociales, nous adressons nos chaleureuses félicitations pour les efforts déployés pour mener avec maîtrise toutes les activités. Nous n'oublions pas les étudiants de l'Université de Yaoundé I et leur encadreur Dr Yves Magloire KENGNE, pour les prélèvements d'échantillons d'eau effectués, les enquêtrices et enquêteurs, et les agents de saisie. A l'équipe d'appui administratif et financier, les secrétaires et les chauffeurs de l'INS, nous adressons également nos félicitations pour leur diligence.-.

Le Directeur Général,



Joseph TEDOU

## Abstract

The quality and usage of groundwater by the urban population of Yaoundé/Cameroon at the end of dry season 2012 was the focus of a joint « Water, Sanitation and Health » survey, linking quantitative survey techniques with a joint field- and laboratory campaign (microbiological and chemical parameters). Results and conclusions were drawn with the aid of an Open Source geographic information system (QGIS, PostGreSQL, PostGIS) and are presented as thematic maps. The survey with 220 questions reached 4396 individuals in 1136 households, covering water supply - including groundwater use -, waste water discharge, hygiene, waste discharge and epidemiological aspects. Five hydrologically and socially different urban environments were studied in greater detail.

The recommendations addressing major deficits in water supply, discharge and hygiene and health status are in line with a number of earlier works by local researchers. They call for concerted multi-tier action and investment in the subsector to improve living conditions to attain Millenium Development Goals.

More than 60 % of the population have to resort to urban groundwater to fulfil their basic water needs at a low median consumption of approximately 25 l/person\*day. With distance from groundwater recharge areas the shallow groundwater is becoming strongly anthropogenic in quality with sodium, nitrate, chloride, ammonium and potassium being the dominant dissolved ions – derived from urine. In spite of bi-annual rapid groundwater recharge with very dilute tropical rainwater, more than 50 % of groundwater samples exceed the WHO guideline value for nitrate of 50 mg/l. Microbiological investigation of all water points show a consistent influence of fecal bacteria at a majority of water points reflecting poor management and a proximity of numerous contamination sources. Both the microbiological and the chemical groundwater quality highlight the constant additional water-bourne health risk incurred by the urban population. The bad quality contributes to the high prevalence of gastro-intestinal diseases. It is of particular risk to children under the age of five, of which a significant percentage were found to have anemic conditions.

**Keywords:** Groundwater, contamination, urban, sanitation, hygiene, microbiology, hydrochemistry, survey, GIS, Cameroon, nitrate, ammonium, chloride, tropical, laterite

## Summary

The pilot study on the pollution of ground and surface water in Yaoundé in relation to the health of the population (acronym : EPESS) presented here is an effort to collect primary field data, carried out jointly between the National Institute for Statistics (NIS), the Federal Institute for Geoscience and Natural Resources (BGR) at Hanover and the Institute for Hygiene and Public Health at the University of Bonn in the Federal Republic of Germany.

The primary objective of the EPESS study is to deliver reliable statistical indicators for a sustainable environmental management of the City of Yaoundé. These indicators shall serve to improve the living conditions of its population.

To meet this objective, the study combines different methodological approaches **a)** combined groundwater sampling campaign and laboratory analysis performed both at Yaoundé and Hanover, **b)** quantitative household survey on water and health related issues and **c)** a qualitative approach based on discussions with focus groups. In addition to a general view on the City of Yaoundé, the quantitative survey allows the comparison of five « spatial clusters » (fr: grappes). These spatial clusters can be differentiated by their hydrological environment, by their degree of town planning and their social structure.

Almost 90 % of the households in Yaoundé would consume treated potable water if the demand could be met. In the case of supply shortages of piped water, these households rely on stored reserves (54.7 %) or on bottled mineral water (10.2 %). Untreated water sources being used are production wells (5.7 %) but also springs (10.6 %) and shallow dug wells (12.8 %). The latter two are very unsafe from a hygienic perspective.

The shortages of piped water are due to frequent temporary cuts by the water supplier CAMWATER which have become common in the City of Yaoundé last two years. Almost 69.0 % of Yaoundé households stated that they suffer from piped water cuts at least four times a month.

These temporary and frequent water cuts force households to resort to shallow dug wells (35.9 %) or springs (5.6 %). Less than half of these shallow wells/springs can be considered « amended » (46.6 %) in a perceptible sense. Using water from these dug wells/springs carries a major risk of infection.

The quality of urban groundwater has been assessed based on 39 groundwater samples which were analyzed for a variety of microbiological and hydrochemical parameters. Samples were taken at the end of dry season 2012 in five « spatial clusters ». The results obtained for 21 shallow dug wells, 14 springs and 4 production wells showed a considerable presence of fecal bacteria in the water. This shows the considerable risk to which the population, forced to use groundwater due to water cuts, is being exposed. The analysis of nitrate (NO<sub>3</sub>) as a chemical parameters showed that 51 % of all groundwater samples exceed the WHO concentration limit of 50 mg/l NO<sub>3</sub>. From the chemical quality perspective, this groundwater is not suitable for human consumption. This applies in particular to babies and children under five years of age. It adds to the outlined microbiological risk and aggravates morbidity. The chemical analysis of groundwater has shown a strong, systematic and direct impact of waste water discharge procedures on groundwater quality. This is exemplified in the spatial distribution of nitrogen, chloride, potassium and sodium concentrations in groundwater. High and extreme concentrations are found next to the upstream limits of human settlement.

The location of the water tap is inside the household in 41.0 % of cases and with the neighbour in 39.5 % of cases, while it is located in the courtyard in 19.5 % of cases. This indicator is not only linked directly with the problems of water supply, but also with hygiene and the option to build and use modern flush toilets.

Local and disorganized waste water discharge is the consequence of the absence of a centralized sewage system in large parts of Yaoundé. Near to 58 % of households discharge their waste water into the next gutter. This situation affects the health of the local population. Excreta and toilet water are discharged into septic tanks by 52.0 % of households, while 34.2 % discharge into a pit latrine. It has to be noted that a non-negligible proportion of households (15.3 %) use the gutters for the discharge of excreta and toilet waste water, thereby creating immediate health risks.

Emptying septic tanks is not usually being practiced in Yaoundé, given that 73.6 % of all households declare to not having emptied their septic tanks within the past 10 years. The widespread use of unserviced septic tanks and pit latrines for waste water discharge constitutes a permanent load of nutrients and microorganism to the subsurface environment. Nitrogen and mineral salts find their way into the urban groundwater. The shared use of toilets by neighboring households (55.7%) is frequent in Yaounde, indicating the situation how conditions of hygiene are shared among the neighbourhood. Badly cleaned and maintained toilets can be a source of contamination and disease. Moreover, with four to six households participating, the shared use of toilets is more pronounced.

Approximately 80 % of households use the services of the local waste utility HYSACAM to dispose of their household wastes on a regular basis. Although this is an elevated percentage of waste collection service coverage, more efforts remain for public administration to extend these services to households not currently being served. A large proportion (11.6 %) of those unserviced households dispose of their wastes into the scrubs or the courtyard.

The unhealthy state of the urban environment can be described by the presence of insects and objectionable animals in the lodgings. Vectors for diseases like cockroaches (92.6 %), mosquitoes (91.2 %) and mice/rats (87.1 %) are ubiquitous phenomena in households. With this widespread presence they have to be considered as important risk factors for the well-being of the population.

Within the reference period of the two weeks prior to the survey, the results show that 12.3 % of persons in households have been ill. Of those reported ill, 10.9 % suffered from one illness, while 1.4 % suffered from two or more diseases.

The percentage of morbidity during the reference period amounts to 5.9 %. With 5.3 % of prevalence, malaria is the most widespread disease. The other water-borne diseases, such as typhoid fever, amoebic and bacterial dysentery, diarrhea and skin diseases seem to be less widespread (< 1 %). Yet, their prevalence is elevated, compared with levels from other comparable scientific studies. The prevalence of non-water borne diseases such as asthma, caries, headaches, stroke, gastric infections, cough and measles is 5.9 %.

The mode of waste water discharge is more correlated with the prevalence of water-borne diseases (7.0 %) than with non-water borne diseases (4.9 %). This prevalence of water-borne diseases can be attributed mainly to the widespread and rampant prevalence of malaria in the population of Yaounde. Nevertheless, frequent cases of water-borne diseases such as typhoid fever, amoebic and bacterial dysentery and diarrhea were reported at the end dry season. Therefore it is recommended that actions are taken to reduce the effects of water-borne diseases on the health of the population.

## RESUME EXECUTIF

L'étude pilote sur la pollution des eaux de surface et souterraines (EPESS) à Yaoundé et son impact sur la santé des populations riveraines est une opération de collecte des données qui est exécutée par l'Institut National de la Statistique (INS) en partenariat avec l'Institut Fédéral des Géosciences et des Ressources Naturelles (BGR) de Hanovre et l'Institut d'Hygiène et de la Santé Publique de l'Université de Bonn en République Fédérale d'Allemagne.

L'objectif principal de cette étude est de fournir les indicateurs pour une gestion durable de l'environnement dans la ville de Yaoundé afin d'améliorer des conditions de vie de ses populations.

Pour atteindre cet objectif, l'étude a combiné plusieurs approches méthodologiques **a)** une approche expérimentale qui a consisté au prélèvement des échantillons d'eau souterraine et à leur analyse en laboratoire à Yaoundé et à Hanovre, **b)** une enquête quantitative auprès des ménages et **c)** une approche qualitative par l'organisation des discussions de groupe. En plus des résultats significatifs concernant la ville de Yaoundé, l'enquête quantitative a permis la comparaison de cinq localités (grappes) qui diffèrent par leurs environnements hydrologiques, le degré de planification et leurs structures sociales.

Dans la ville de Yaoundé, près de 90 % de ménages consomment de l'eau ayant subi un traitement (eau CAMWATER ou eau minérale). En cas de pénurie, ces ménages font très souvent recours aux réserves d'eau (54.7 %), constituées d'eau minérale (10.2 %) ou provenant des forages (5.7 %) et d'autres sources d'eau jugées non potables telles que les sources (10.6 %) et les puits (12.8 %).

Ces pénuries sont dues aux coupures intermittentes et récurrentes d'eau CAMWATER qui sévit dans la ville de Yaoundé depuis près de 2 ans. En effet, près de 69.0 % des ménages de Yaoundé ont déclaré subir mensuellement au moins quatre fois les coupures d'eau.

Ces coupures intermittentes et récurrentes poussent les ménages à s'alimenter en eau souterraine puits (35.9 %), ou des sources (5.6 %). Moins de la moitié de ces puits/sources sont aménagés (46.6 %). L'utilisation de l'eau de ces puits/sources constitue un risque majeur de contagion.

La qualité d'eau souterraine en milieu urbain a été analysée à travers les paramètres chimiques et microbiologiques basés sur 39 échantillons constitués dans les grappes à la fin de la saison sèche en 2012. Les résultats obtenus sur 21 puits, 14 sources et 4 forages montrent une grande présence des bactéries fécales dans les points d'eau, indiquant un risque considérable pour les populations forcées par les coupures fréquentes à utiliser les eaux souterraines. L'analyse des paramètres chimiques a montré que 51 % des échantillons d'eau souterraine dépasse la norme OMS de 50 mg/l (ppm) pour le nitrate. Des valeurs élevées et extrêmes sont rencontrées à proximité des zones de recharge de nappe. Ces eaux souterraines ne sont pas appropriées pour la consommation, en particulier les bébés et les enfants de moins de cinq ans. Ils accroissent le risque microbiologique existant et contribuent à la morbidité. L'analyse chimique de la qualité de l'eau a également montré qu'il y a un impact persistant systématique et direct des pratiques d'évacuation des eaux usées sur la qualité des eaux souterraines. Cet impact est visible sur la distribution spatiale de l'azote, du chlorure, du potassium, et du sodium en particulier.

Les ménages qui ont leurs robinets dans leurs logements représentent 41.0 % et 39.5 % s'approvisionnent chez le voisin, tandis que 19.5 % ont un robinet dans la cours. Cet indicateur pourrait expliquer non seulement les problèmes d'approvisionnement en eau du logement, mais également celui d'hygiène et d'assainissement des toilettes modernes qui nécessitent l'utilisation de l'eau par le système de chasse d'eau.

L'absence d'une collecte centralisée des eaux usées dans une grande partie de la ville de Yaoundé entraîne des pratiques désorganisées. Près de 58 % des ménages déversent leurs eaux usées dans les caniveaux/rigoles proches de leurs logements. Cette situation est de nature à altérer la santé des populations de ces quartiers. Pour ce qui est de la canalisation des eaux de toilette, 52.0 % de ménages les dirigent vers les fosses septiques et près de 34.2 % des ménages les déversent dans un trou. Il faut également relever qu'une proportion non négligeable de ménages (15.3 %) utilise les rigoles qui desservent les quartiers pour l'évacuation de ces eaux de toilettes, créant un risque de santé immédiat.

La vidange des fosses septiques n'est pas une pratique courante dans la ville de Yaoundé. En effet, près de 73.6 % des ménages ont déclaré n'avoir pas vidangé leurs fosses septiques au cours des 10 dernières années. L'utilisation très répandue des fosses septiques non entretenues et l'usage des trous constituent une charge permanente et élevée de nutriments et de micro-organismes dans l'environnement. Par ailleurs, l'azote et les sels minéraux peuvent se retrouver à l'intérieur des eaux souterraines en milieu urbain. La co-utilisation des toilettes par plusieurs ménages est fréquente à Yaoundé traduisant de ce fait la promiscuité dans laquelle vivent les populations. Ce phénomène concerne 55.7 % des ménages. Dans ces conditions, les toilettes mal entretenues pourraient constituer une source de contamination. De plus, le partage des toilettes s'intensifie le plus quand il implique quatre à six ménages.

Environ 80 % de ménages évacuent leurs ordures ménagères par le canal de la société HYSACAM. C'est donc dire que le taux de couverture de la ville est élevé, même si des efforts restent à fournir par les pouvoirs publics pour étendre ce réseau au reste des ménages dont une grande partie à savoir 11.7 % évacue les ordures dans les broussailles ou dans la cours.

L'environnement malsain peut être appréhendé par la présence d'insectes et d'animaux nuisibles dans les logements. En effet, les cafards (92.6 %), les moustiques (91.2 %) et les souris/rats (87.1 %) qui sont des vecteurs de maladies partagent le quotidien des ménages, devenant de ce fait d'importants facteurs de risques de maladies et gênants du bien-être des populations.

Durant la période de référence, les résultats ont montré que 12.3 % de personnes dans les ménages enquêtés ont été malades. De ces malades, 10.9 % ont souffert d'une maladie, et 1.4 % ont souffert de deux maladies ou plus.

Le taux de morbidité durant cette période est de 5.9 %. Avec un taux de prévalence de (5.3 %), le paludisme est la maladie la plus répandue. Les autres maladies hydriques telles que la typhoïde, la dysenterie, les maladies diarrhéiques, les maladies de la peau semblent être moins répandues (moins de 1 %), mais la prévalence est élevée au regard du niveau observé dans les autres études scientifiques. La prévalence des maladies non liées à l'eau telles que: l'asthme, les maux de dents, les céphalées, l'AVC, l'infection gastrique, la toux, la rougeole, est de 5.9 %.

Le mode d'évacuation des eaux usées agit plus sur la prévalence des maladies hydriques que sur celle des maladies non hydriques, soit 7.0 % contre 4.9 %. Cette prévalence des maladies hydriques est en grande partie imputable à la prévalence du paludisme au sein de la population des ménages de la ville de Yaoundé. Néanmoins des cas fréquents des autres maladies hydriques telles que la fièvre typhoïde, la dysenterie et la diarrhée, ont été observés à la fin de la saison sèche. Il est donc recommandé que des actions soient mises en œuvre en vue de réduire leurs effets sur la santé des populations.

## Table des matières

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
1.1	CONTEXTE ET JUSTIFICATION DE L'ETUDE.....	1
1.2	SITUATION.....	2
1.3	CLIMAT .....	4
1.4	HYDROLOGIE.....	4
1.5	GEOLOGIE, HYDROGEOLOGY ET SOLS .....	6
1.6	SITUATION EN MATIERE DE CONNAISSANCE DES PROJETS SUR L'EAU, L'ASSAINISSEMENT ET L'HYGIENE DANS LA VILLE DE YAOUNDE - STATE OF KNOWLEDGE ON WASH-PROJECTS IN YAOUNDE .....	9
<b>2</b>	<b>OBJECTIFS.....</b>	<b>17</b>
2.1	OBJECTIF GENERAL .....	17
2.2	OBJECTIFS SPECIFIQUES.....	17
<b>3</b>	<b>METHODES.....</b>	<b>19</b>
3.1	ENQUETE QUANTITATIVE AUPRES DES MENAGES RIVERAINS - WATER, SANITATION AND HEALTH SURVEY 19	
3.1.1	<i>Constitution de l'échantillon .....</i>	<i>19</i>
3.1.2	<i>Outils de collecte.....</i>	<i>19</i>
3.1.3	<i>Collecte de données .....</i>	<i>19</i>
3.1.4	<i>Saisie et exploitation des données.....</i>	<i>20</i>
3.2	ENQUETE QUALITATIVE: LES DISCUSSIONS DE GROUPES.....	20
3.2.1	<i>Sélection et construction des unités d'observation.....</i>	<i>20</i>
3.2.2	<i>Collecte et analyse des données: Une approche socio-anthropologique.....</i>	<i>20</i>
3.3	PROCEDURES D'ECHANTILLONAGE DES POINTS - WATER SAMPLING PROCEDURES .....	21
3.3.1	<i>Considérations générales- General considerations.....</i>	<i>21</i>
3.3.2	<i>Procédures d'échantillonnage des eaux souterraines - Groundwater sampling .....</i>	<i>21</i>
3.3.3	<i>Echantillonnage des points d'eau de surface - surface water sampling .....</i>	<i>28</i>
3.4	ANALYTICAL METHODS.....	30
3.4.1	<i>Champ méthodologique - Field methods.....</i>	<i>30</i>
3.4.2	<i>Méthodes microbiologiques - Microbiological methods.....</i>	<i>30</i>
3.4.3	<i>Chimie inorganique de l'eau - Inorganic water chemistry.....</i>	<i>30</i>
3.5	BASE DE DONNEES ET SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE (SIG) .....	31
3.5.1	<i>Logiciel libre.....</i>	<i>32</i>
3.5.2	<i>Environnement du matériel et du logiciel.....</i>	<i>32</i>
3.5.3	<i>Serveur Virtuel .....</i>	<i>32</i>
3.5.4	<i>Base de données .....</i>	<i>33</i>
3.5.5	<i>Contenu de la banque de données.....</i>	<i>33</i>
3.5.6	<i>Système d'Information Géographique – Quantum GIS.....</i>	<i>34</i>
<b>4</b>	<b>ETAT MICROBIOLOGIQUE ET HYDROCHIMIQUE DES EAUX SOUTERRAINES ET DE SURFACE A LA FIN DE LA SAISON SECHE EN 2012 - MICROBIOLOGICAL AND HYDROCHEMICAL STATUS OF SHALLOW GROUNDWATER AND SURFACE WATER AT THE END OF DRY SEASON 2012 .....</b>	<b>35</b>
4.1	MICROBIOLOGIE - MICROBIOLOGY.....	35

4.1.1	<i>Escherichia coli et Coliformes Totaux - Escherichia coli and Total Coliformes</i> .....	35
4.1.2	<i>Autres indicateurs bactériologiques et pathogènes - Other bacteriological indicators and pathogens</i> .....	37
4.1.3	<i>Coliphages</i> .....	38
4.2	CHIMIE - CHEMISTRY .....	40
4.2.1	<i>Tamponnage pH - pH-buffering</i> .....	40
4.2.2	<i>Substances nutritives - Nutrients</i> .....	42
4.2.3	<i>Composants principaux - Main components</i> .....	57
4.2.4	<i>Facies des eaux - Classification of water types</i> .....	73
4.2.5	<i>Éléments traces - Trace elements</i> .....	76
4.2.6	<i>Isotopes stables de l'eau - Stable isotopes of water</i> .....	79
4.3	SYNTHESE SUR LE DEGRE DE CONTAMINATION - SUMMARY OF THE DEGREE OF CONTAMINATION.....	83
4.4	CONCLUSION ELARGIE - EXTENDED SUMMARY .....	88
<b>5</b>	<b>L'EFFET DE LA DISPONIBILITE DES TOILETTES ET DE L'EAU SUR LA QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES - THE EFFECT OF THE AVAILABILITY OF SANITATION AND WATER ON THE QUALITY OF SHALLOW GROUNDWATER.....</b>	<b>89</b>
5.1	CARACTERISTIQUES DES POINTS D'EAU ET DES EAUX USÉES - CHARACTERISTICS OF WATER POINTS AND WASTE WATER DISCHARGE .....	89
5.1.1	<i>Approvisionnement en eau - Water supply</i> .....	89
5.1.2	<i>Type d'eau consommée suivant la position du ménage - Water types used according to household</i> .....	89
5.1.3	<i>Sûreté de l'alimentation en eau - Security of water supply</i> .....	95
5.2	MODE D'EVACUATION DES EAUX USEES .....	103
5.2.1	<i>Eaux usées des ménages (Principal mode d'évacuation des eaux usées du ménage) - Household wastewater</i> .....	103
5.2.2	<i>Eaux usées des toilettes (Mode de canalisation des eaux des toilettes) - Toilet wastewater</i> ..	105
5.3	ASSAINISSEMENT DU MENAGE - DISPOSAL OF HOUSEHOLD WASTE .....	118
5.3.1	<i>Mode d'évacuation des ordures ménagères - Principal mode d'évacuation des ordures ménagères - Primary modes of waste disposal</i> .....	118
5.3.2	<i>Difficultés pour évacuer les ordures ménagères - Difficulties disposing household wastes</i> ....	121
5.3.3	<i>Type de difficultés pour évacuer les ordures ménagères - Types of difficulties disposing household wastes</i> .....	122
5.3.4	<i>Fréquence d'évacuation des ordures ménagères - Intervals for collection of household wastes</i>	126
<b>6</b>	<b>NIVEAU D'EXPOSITION DES MENAGES A LA POLLUTION ET EFFETS SUR LA SANTE - LEVEL OF EXPOSITION OF HOUSEHOLDS TOWARDS POLLUTION AND THE EFFECTS ON HEALTH .....</b>	<b>128</b>
6.1	STRUCTURE SOCIO-ECONOMIQUE DES MENAGES- SOCIO-ECONOMIC STRUCTURE OF HOUSEHOLDS ...	128
6.1.1	<i>Structure par sexe et par âge de la population - Distribution by age and gender</i> .....	128
6.1.2	<i>État civil - Civil status</i> .....	129
6.1.3	<i>Situation géographique du ménage - The geographical environment of households</i> .....	131
6.2	L'ENVIRONNEMENT DES MENAGES - THE LIVING ENVIRONMENT OF HOUSEHOLDS .....	132
6.2.1	<i>Presence of disturbances in the living environment - Présence d'installation ou d'activités provoquant une gêne à proximité du ménage</i> .....	132

6.2.2	Type d'installations ou d'activités qui nuisent dans à proximité - Most frequent disturbances in the living environment .....	133
6.2.3	Énergie utilisée pour cuisiner - Energy used for cooking.....	137
6.2.4	Position du robinet dans le ménage - Proximity of tap water to households – .....	139
6.2.5	Co-utilisation du robinet avec d'autres ménages - Shared use of taps.....	142
6.2.6	Commercialisation de l'eau par le ménage - Reselling tap water.....	142
6.2.7	Proximité du puits ou de source du logement et position par rapport aux toilettes .....	145
6.3	INFLUENCE DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES ET BACTERIOLOGIQUES SUR LES MENAGES.....	149
6.3.1	Influence de l'Escherichia coli (E.coli) .....	149
6.3.2	Influence du coliforme fécal.....	150
6.3.3	Influence du nitrate (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	151
6.3.4	Influence de l'ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ).....	151
6.4	TPOLOGIE DES SOURCES ALTERNATIVES D'APPROVISIONNEMENT EN EAU A YAOUNDE – ALTERNATIVE SOURCES OF WATER SUPPLY IN YAOUNDE.....	152
6.4.1	L'eau de source: la « Villagésation » du milieu urbain.....	152
6.4.2	L'eau du puits.....	152
6.4.3	Perception des sources et puits par les populations - The status of springs and shallow wells as perceived by the population .....	152
6.4.4	Les sources d'approvisionnement de fortune .....	155
<b>7</b>	<b>IMPACT DE LA POLLUTION SUR LA SANTE DES POPULATIONS DE LA VILLE DE YAOUNDÉ .....</b>	<b>157</b>
7.1	NIVEAU D'EXPOSITION DE LA POPULATION A LA POLLUTION .....	157
7.1.1	Type d'insectes et d'animaux présent dans le logement - Type of insects present in the households - .....	157
7.2	MORBIDITE GENERALE DANS LA POPULATION.....	157
7.2.1	Morbidité .....	157
7.2.2	Occurrence des maladies - Occurrence of diseases.....	158
7.2.3	Morbidité dans la zone d'enquête suivant la distance entre le ménage et le point d'eau .....	158
7.2.4	Prévalence des principales maladies .....	159
7.3	L'ANEMIE CHEZ LES JEUNES ENFANTS – ANEMIA IN YOUNG CHILDREN .....	164
<b>8</b>	<b>RECOMMANDATIONS - RECOMMENDATION.....</b>	<b>167</b>
<b>9</b>	<b>REFERENCES .....</b>	<b>169</b>
<b>10</b>	<b>ACKNOWLEDGEMENTS.....</b>	<b>190</b>
<b>11</b>	<b>ANNEXE.....</b>	<b>7.3-1</b>
11.1	THEMATIC MAPS.....	11.1-1
11.1.1	Thematic maps of water quality parameters in 1 : 30 000 .....	11.1-1
11.1.2	Thematic maps of enquete in 1 : 30 000 .....	11.1-1
11.2	SURVEY / ENQUETE - COMBINED HOUSEHOLD AND INDIVIDUAL QUESTIONARY .....	11.2-1
11.3	METHODS AND METHODOLOGY .....	11.3-14
11.3.1	Méthodes microbiologiques - Microbiological methods .....	11.3-14
11.3.2	Inorganic water chemistry.....	11.3-18
11.3.3	Field-sheet groundwater sampling.....	11.3-19
11.4	EXPERIMENTAL RESULTS.....	11.4-21
11.4.1	Water points / Stations .....	11.4-21

11.4.2	<i>Description of water points / Stations</i> .....	11.4.2-27
11.4.3	<i>Physicochemical parameters at water points including mapping results</i> .....	11.4-32
11.4.4	<i>Analytical result and water quality</i> .....	11.4-36
11.5	STATISTICAL PLOTS OF INORGANIC WATER QUALITY PARAMETER.....	11.5-44
11.5.1	<i>Additional plots</i> .....	11.5-44
11.6	TABLEAUX RESUMES DES RESULTATS ANALYTIQUES - SUMMARY TABLES OF ANALYTICAL RESULTS	11.6-46
11.7	CLASSIFICATION DES TYPES D'EAU - CLASSIFICATION OF WATER TYPES .....	11.7-50
11.8	RAPPORT – ATELIER DE PRESENTATIONS DES RESULTATS EPESS, JUIN 2013 .....	11.8-51
11.9	DISCUSSION EN GROUPE THEMATIQUE CHERCHEURS .....	11.9-77
11.10	EQUIPE TECHNIQUE EPESS.....	11.10-80
11.11	EQUIPE VOLET EXPERIMENTAL ET ANALYTIQUE .....	11.11-83

## Liste des figures

- Figure 1:** Réseau de drainage de la ville de Yaoundé selon le modèle de terrain SRTM. Les arrondissements et la zone d'étude sont matérialisés - Drainage network of the town of Yaoundé in relation to the SRTM-terrain model. Arrondissements and the study area are shown. .... 3
- Figure 2:** Isohyetes dans le bassin de drainage du Nyong - *Lines of equal annual precipitation (isohyetes) in the Nyong drainage basin, with permission from Bvet.omp.obs-mip.fr.* .... 4
- Figure 3:** Situation de la capitale camerounaise Yaoundé en amont du bassin versant de la rivière Mefou, qui fait partie du bassin hydrologique du fleuve Nyong - Location of the Cameroonian capital Yaoundé at the head of the Mefou-catchment as part of the Nyong drainage basin. .... 5
- Figure 4:** Précipitations et débit du fleuve Nyong mensuels durant l'année hydrologique 1998, avec autorisation de Bvet.omp.obs-mip.fr.- *Monthly precipitation and river discharge of the Nyong in the hydrologic year 1998, with permission from Bvet.omp.obs-mip.fr.* ..... 6
- Figure 5:** Carte géologique de la roche mère du bassin du fleuve Nyong, avec autorisation de Bvet.omp.obs-mip.fr - *Geological map of source rocks of the Nyong river basin, with permission from Bvet.omp.obs-mip.fr.* ..... 7
- Figure 6:** Schéma de l'agencement hydrogéologique de terrain, aquifères, réseau hydrographique de Yaoundé, mis en relation avec l'aménagement urbain et les installations d'approvisionnement en eau locales et d'assainissement; surface de la nappe phréatique et lignes d'écoulement approximatives – *Sketch of the ydrogeological arrangement of terrain, aquifers, drainage network of Yaoundé in relation to urban settlement and decentralized installations of water supply and discharge; groundwater surface and flowlines only approximate - not to scale.* ..... 8
- Figure 7:** Choix des etudes en relation avec le projet WaSH à Yaoundé avec mise en valeur des eaux souterraines - Choice of WaSH-related studies in Yaoundé with an emphasis on groundwater; « 1 » Ewodo et al. (2009), « 2 » Fouepe Takounjou et al. (2009, 2013), « 3 » Kuitcha et al. (2008, 2010, 2013) and « 4 » Ngnikam et al. (2004, 2007, 2008). .... 12
- Figure 8:** Localisation des ménages pour l'étude EPESS quantitative - *Location of households for the quantitative EPESS survey.* ..... 18
- Figure 9:** Distribution spatiale des points d'eau visités durant la reconnaissance cartographique (petits symboles bleus) et finalement retenus pour l'échantillonnage (symboles chiffrés) - *Spatial distribution of water points visited during reconnaissance mapping (small blue symbols) and finally chosen for sampling (numbered symbols).* ..... 22

**Figure 10:** (A gauche) Au point d'eau, l'échantillon microbiologique était d'abord prélevé en utilisant l'équipement local disponible (Olezoa). A droite, utilisation d'une pipette pour déverser un échantillon d'eau prélevée dans une fiole à Ngoa-Ekellé - *(left) After reaching the waterpoint, the microbiological sample was always taken first, making use of the local equipment present (Olezoa); (right) Pipetting a TIC/TOC-subsample into a glass vial at Ngoa-Ekélé.* ..... 23

**Figure 11:** A gauche, un puits dans un état d'entretien favorisant un biotope, comparé (à droite) à un puits mieux entretenu normalement protégé de la lumière - *(left) Dug well (puits) in the maintenance state of a biotope compared (right) to a better kept dug well normally protected from light.* ..... 24

**Figure 12:** (à gauche) Un jeu de bouteilles utilisées pour les analyses microbiologiques, chimiques minérales et chimiques organiques ; (à droite) Jeu de bouteilles pleines après échantillonnage d'un puits privé équipé d'une pompe submersible (forage) - *(left) Bottle-set used for microbiological, inorganic chemical and organic chemical analysis; (right) Full bottle-set after sampling a private well equipped with a submersible pump (forage).*..... 25

**Figure 13:** (à gauche) Filtration et stabilisation d'un échantillon-mère au point d'eau pour préserver les concentrations en éléments traces dissous, (à droite) échantillonnage d'une source améliorée dans les bas-fonds de Messa-Carrière à Oliga - *(left) Filtration and stabilization of a subsample at the water point to preserve dissolved trace element concentrations; (right) sampling an improved spring below Messa-Carrière at Oliga.* ..... 25

**Figure 14:** Localisation des sites d'échantillonnage avec les ménages de l'enquête qui leur sont attribués dans la zone d'étude. Ces cinq groupes de sites d'étude servent à mettre en évidence les différentes conditions d'hydrologie et d'utilisation des terres - *Location of sampling sites with the attributed households of the survey in the study area. These five spatial clusters serve to outline different conditions of hydrology and landuse.*..... 26

**Figure 15:** (en haut à gauche) Mesure de conductivité hydraulique et du pH en aval du pont de Mfoundi ; (en bas à gauche) échantillonnage du Mfoundi dans le bois St. Anastasie ; (à droite) échantillonnage en aval de la zone de la source Apollo avec la décharge sauvage (Messa-Carrière) - *(left above) Measuring EC and pH downstream the Mfoundi bridge, (left below) Sampling the Mfoundi in Bois St. Anastasie; (right) Sampling downstream Apollo spring area with wild waste discharge (Messa-Carrière).*..... 29

**Figure 16:** (à gauche) échantillon des berges du lac municipal abondantes en plantes (*Eichhornia crassipes*) ; (à droite) pêcheur prélevant de l'eau de surface (0 m) et de l'eau profonde (3 m) sur le lac municipal, à l'aide d'une écope - *(left) Shore sample of Municipal Lake covered with abundant plants (Eichhornia crassipes) (right); Fisherman taking water sample at surface (0 m) and from a depth of 3 m of Municipal Lake with a bailer.* ..... 29

**Figure 17:** (à gauche) Test IDEXX Colilert 18. Les cases jaunes indiquent la croissance d'*E. coli* et des coliformes totaux ; (à droite) 3M™ Petrifilm™ *E. coli* / Coliform Count (EC) Plate™ sur la moitié gauche de l'image et Aqua AQEB Plate™ sur la moitié droite de l'image, pour la détection des entérobactéries dans l'eau - *(left) IDEXX Colilert 18 test.*

*Yellow wells indicate growth of E. coli and total coliforms (left) ;(right. 3M™ Petrifilm™ E. coli / Coliform Count (EC) Plate™ (middle) and Aqua AQEB Plate™ (right) for detection of enterobacteriaceae in water. ....30*

**Figure 18:** Distribution spatiale des pH incluant les résultats de la reconnaissance cartographique, les symboles verts indiquent la gamme approximative de pH neutre (pH 6.5 - pH 8) - *Spatial distribution of pH including the results of the reconnaissance mapping, green symbols indicate the circum-neutral pH-range (pH 6.5 – pH 8).....41*

**Figure 19:** Distribution spatiale des nitrates dans les eaux souterraines et de surface, en mg/l- *Spatial distribution of nitrate in groundwater and surface water; in mg/l. ....47*

**Figure 20:** Représentation graphique (en mg/l) des composés de l'azote (nitrates, ammonium, nitrite et azote inorganique total (AIT)) et chlorures dans les eaux souterraines et de surface de la ville de Yaoundé, valeurs en mg/l - *Crossplot of nitrogen-compounds (nitrate, ammonium, nitrite and total inorganic nitrogen (TIN)) and chloride in Yaoundé groundwater and surface water; axis values are in mg/l. ....49*

**Figure 21:** (à gauche) Eichhornia crassipes accompagné de Pistia stratiotes flottant et Nymphaea spec, qui sont les macrophytes dominants dans le lac municipal; (à droite) tapis épais d' Eichhornia crassipes près de l'embouchure du Mingoa avec le lac municipal - *(left) Eichhornia crassipes together with floating Pistia stratiotes and Nymphaea spec. as dominant macrophytes of the Municipal Lake; (right) thick carpet of Eichhornia crassipes near the inflow of Mingoa to Municipal Lake. ....55*

**Figure 22:** Corrélation entre quelques paramètres décrivant la qualité des eaux comme la conductivité électrique (CE), les solides totaux dissous (STD) et le l'azote inorganique total (TIN). La bare rouge-verte indique 50 mg/l de nitrate exprimé en 11.4 mg/l - *Correlation of sum parameters describing water quality like electrical conductivity (EC), total dissolved solids (TDS) and total inorganic nitrogen (TIN) ; The red-green division is based on 50 mg/l nitrate expressed as 11.4 mg/l N. ....58*

**Figure 23:** Distribution spatiale de la conductivité électrique (CE), incluant le résultat de la reconnaissance cartographique, valeurs en µs/cm, classement d'après Rodier (1996) – *Spatial distribution of electrical conductivity (EC) including the results of the reconnaissance mapping; values in µs/cm, classification according to Rodier (1996). ....59*

**Figure 24:** Représentation graphique des cations et conductivité électrique (cation en mg/l, CE en µS/cm) dans les eaux souterraines et de surface de la ville de Yaoundé - *Crossplot of cations and EC in Yaoundé groundwater and surface water; axis values are in mg/l, EC in µS/cm. ....63*

**Figure 25:** Distribution spatiale du potassium (K) dans les eaux souterraines et de surface, en mg/l – *Spatial distribution of potassium (K) in groundwater and surface water; in mg/l. ....65*

- Figure 26:** Représentation graphique des anions et de la conductivité électrique dans les eaux souterraines et de surface de Yaoundé, valeurs sur les axes en mg/l, CE en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  - *Crossplot of anions and EC in Yaoundé groundwater and surface water; axis values are in mg/l, EC in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ..... 68*
- Figure 27:** Distribution spatiale du chlorure dans les eaux souterraines et de surface, en mg/l – *Spatial distribution of chloride (Cl-) in groundwater and surface water; in mg/l..... 69*
- Figure 28:** Distribution spatiale du pourcentage équivalent de bicarbonate dans la somme des anions – *Spatial distribution of the equivalent percentage of hydrogencarbonate in the sum of anions..... 71*
- Figure 29:** Diagramme de Piper d'échantillons d'eau de 2012, avec une échelle de couleurs dépendant du lieu d'échantillonnage - *Piper-diagram of 2012 water samples, colour-table depending on type of water point (station)..... 73*
- Figure 30:** Diagramme de Piper d'échantillons d'eau de 2012, avec une échelle de couleurs dépendant des centiles de la conductivité électrique (en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) - *Piper-diagram of 2012 water samples, colour-table depending on percentiles of electrical conductivity (EC) in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ..... 74*
- Figure 31:** Diagramme de Piper d'échantillons d'eau de 2012, avec une échelle de couleur dépendant de la teneur en nitrates (en mg/l) - *Piper-diagram of 2012 water samples, colour-table depending on classes of nitrate in mg/l. .... 75*
- Figure 32:** Relation entre oxygène stable, deutérium et concentration en chlorure ainsi que la teneur isotopique de la pluie moyenne de Yaoundé et l'écart type. – *Relationship between stable oxygene and deuterium isotope signature and chloride concentration with mean rainwater signature given; error (sd) bars are given. .... 81*
- Figure 33:** Relation entre la signature isotopique stable. La droite des eaux météoriques mondiale et le type de point d'eau. - *Relationship between stable isotope signature, Global Meteoric Water Line and type of water point..... 82*
- Figure 34:** Distribution spatiale du pourcentage équivalent de nitrates dans la somme des anions – *Spatial distribution of the equivalent percentage of nitrate in the sum of anions.85*
- Figure 35:** Proportion équivalente de la charge de nitrate anion (en haut) et d'ammonium cation (en bas) dans la charge d'anions respectivement cations de tous les échantillons d'eau (n = 49) prélevés à Yaoundé en avril 2012 - *Equivalent proportion of the charge of the nitrate anion (top) and the ammonium cation (bottom) in the charge of anions respective cations in all water samples (n = 49) taken in Yaoundé in April 2012. .... 86*
- Figure 36:** Principale source d'eau potable - *Principal source of drinking water – Madagascar..... 90*
- Figure 37:** Principale source d'eau potable - *Principal source of drinking water – Messa Carrière..... 91*

<b>Figure 38:</b> Principale source d'eau potable - <i>Principal source of drinking water – Ngoa-Ekéle</i> .....	91
<b>Figure 39:</b> Modalités des sources d'eau de boisson principale et alternative des ménages de la ville de Yaoundé - <i>Modalities of primary and secondary drinking water sources of households in Yaoundé</i> .....	93
<b>Figure 40:</b> Source alternative d'approvisionnement en eau potable - <i>Secondary sources of drinking water – Ngoa-Ekéle</i> .....	93
<b>Figure 41:</b> Source alternative d'approvisionnement en eau potable - <i>Secondary sources of drinking water – Madagascar</i> .....	94
<b>Figure 42:</b> Source alternative d'approvisionnement en eau potable - <i>Secondary sources of drinking water – Ngoa Ekéle</i> .....	94
<b>Figure 43:</b> Proportion des ménages ayant connu des pénuries ou des coupures d'eau intermittentes - <i>Proportion of households with reported water cuts; in %</i> .....	95
<b>Figure 44:</b> Fréquence mensuelles des coupures d'eau - <i>Frequency of monthly watercuts – Madagascar 1 / 10 000</i> .....	96
<b>Figure 45:</b> Fréquence mensuelles des coupures d'eau - <i>Frequency of monthly watercuts – Messa Carrière 1 / 10 000</i> .....	96
<b>Figure 46:</b> Fréquence mensuelle des coupures d'eau - <i>Frequency of watercuts – Ngoa-Ekéle 1 / 10 000</i> .....	97
<b>Figure 47:</b> Enfants faisant la queue à un forage manuel local à Messa-Carrière sur le point d'ouvrir à la production d'eau souterraine, stat_id 193 à Yaoundé en avril 2012, à la fin de la saison sèche – <i>Children queing for a local hand-equipped well (forage) at Messa-Carrière to be opened for manual production of groundwater, stat_id 193 in Yaoundé April 2012, at the end of dry season</i> .....	98
<b>Figure 48:</b> (à gauche) puits modérément modifié à Madagascar et (à droite) source aménagée et entretenue (puits phréatique) dans la communauté de l'Ekoudou – <i>(left) moderately amended dug well at Madagascar (puits) and (right) amended and well kept spring (or phreatic well) in the Ekoudou spatial cluster</i> .....	99
<b>Figure 49:</b> (à gauche) puits non aménagé dans la communauté de l'Ekoudou et (à droite) source non aménagée à Apollo, communauté de Messa-Carrière – <i>(left) unamended dug well in the Ekoudou spatial cluster (puits) and (right) unamended spring at Apollo, Messa-Carrière spatial cluster</i> .....	100
<b>Figure 50:</b> Puits ou source aménagé - <i>State of the local groundwater points – Madagascar 1 / 10 000</i> .....	100

<b>Figure 51:</b> Puits ou source aménagé - <i>State of the local groundwater points – Messa Carrière 1 / 10 000.</i> .....	101
<b>Figure 52:</b> Puits ou source aménagé - <i>State of the local groundwater points – Ngoa-Ekélé 1 / 10 000.</i> .....	101
<b>Figure 53:</b> Principal mode d'évacuation des eaux usées du ménage – <i>Principal mode of household-wastewater disposal – Madagascar 1 / 10 000.</i> .....	104
<b>Figure 54:</b> Principal mode d'évacuation des eaux usées du ménage – <i>Principal mode of household-wastewater disposal – Messa Carrière 1 / 10 000.</i> .....	105
<b>Figure 55:</b> Principal mode d'évacuation des eaux usées du ménage – <i>Principal mode of household-wastewater disposal – Ngoa Ekélé 1 / 10 000.</i> .....	105
<b>Figure 56:</b> Construction d'une petite fosse septique à trois compartiments sur une pente qui va de Messa-Carrière à Tsinga-Olinga - <i>Construnction of a small three cambered septic tank on the slope below Messa-Carrière towards Tsinga-Oliga.</i> .....	106
<b>Figure 57:</b> Canalisation des eaux usées de toilettes – <i>Canalisation of used toilet water – Madagascar 1 / 10 000.</i> .....	107
<b>Figure 58:</b> Canalisation des eaux usées de toilettes – <i>Canalisation of used toilet water – Ngoa Ekélé 1 / 10 000.</i> .....	107
<b>Figure 59:</b> Canalisation des eaux usées de toilettes – <i>Canalisation of used toilet water – Ngoa-Ekélé 1 / 10 000.</i> .....	108
<b>Figure 60:</b> Type de toilettes – <i>Type of toilets – Madagascar 1 / 10 000.</i> .....	110
<b>Figure 61:</b> Type de toilettes – <i>Type of toilets – Ngoa-Ekélé 1 / 10 000.</i> .....	110
<b>Figure 62:</b> Type de toilettes – <i>Type of toilets – Messa Carrière 1 / 10 000.</i> .....	111
<b>Figure 63:</b> Pourcentage de ménages utilisant les toilettes avec les autres ménages - <i>Percentage of households using the same toilets; in %.</i> .....	112
<b>Figure 64:</b> Nombre de ménages utilisant les mêmes toilettes – <i>Number of households using the same toilet – Madagascar 1 / 10 000.</i> .....	113
<b>Figure 65:</b> Nombre de ménages utilisant les mêmes toilettes – <i>Number of households using the same toilet – Messa Carrière 1 / 10 000.</i> .....	113
<b>Figure 66:</b> Nombre de ménages utilisant les mêmes toilettes – <i>Number of households using the same toilet – Ngoa-Ekélé 1 / 10 000.</i> .....	114
<b>Figure 67:</b> Décharge de bouteilles d'eau en plastique bloquant un affluent de la rivière Biyeme à Biyem Assi (décembre 2011, affluent lourdement chargé en eaux usées) –	

*Discharged water bottles blocking a tributary channel to the Biyeme river at Biyem Assi (December 2011); tributary being heavily loaded with sewage.....* 119

**Figure 68:** Mode d'évacuation des ordures ménagères – *Principal mode of waste removal – Madagascar 1 / 10 000.* ..... 119

**Figure 69:** Mode d'évacuation des ordures ménagères – *Principal mode of waste removal – Messa-Carrière 1 / 10 000* ..... 120

**Figure 70:** Mode d'évacuation des ordures ménagères - *Principal mode of waste removal – Ngoa-Ekélé 1 / 10 000.* ..... 120

**Figure 71:** Proportion des ménages ayant déclaré avoir des difficultés pour évacuer les ordures ménagères - *Proportion of households having declared difficulties with the disposal of household wastes.* ..... 121

**Figure 72:** Décharge publique d'ordures ménagères en aval d'une source d'eau d'Apollo à Messa-Carrière, le point d'eau le plus proche utilisé par les populations se trouve à quelques mètres seulement - *Household waste dump downstream of the spring area of Apollo at Messa-Carrière, the next water point used by the population is only meters away.*..... 121

**Figure 73:** Difficultés pour évacuer des ordures ménagères – *Difficulties disposing domestic waste – Madagascar 1 / 10 000.* ..... 123

**Figure 74:** Distance entre le ménage et le bac à ordures public le plus proche – *Distance between household and the nearest public waste container – Madagascar 1 / 10 000.* ... 123

**Figure 75:** Difficultés pour évacuer des ordures ménagères – *Difficulties disposing domestic waste – Messa Carrière 1 / 10 000.* ..... 124

**Figure 76:** Distance entre le ménage et le bac à ordures public le plus proche – *Distance between household and nearest public waste container – Messa Carrière 1 / 10 000.*.... 124

**Figure 77:** Difficultés pour évacuer des ordures ménagères – *Difficulties disposing domestic waste – Ngoa Ekélé 1 / 10 000.* ..... 125

**Figure 78:** Distance entre le ménage et le bac à ordures public le plus proche – *Distance between households and the nearest public waste container – Ngoa Ekélé 1 / 10 000.*.. 125

**Figure 79:** Fréquence d'évacuation des ordures ménagères – *Intervals for collection of domestic waste – Madagascar 1 / 10 000.* ..... 126

**Figure 80:** Fréquence d'évacuation des ordures ménagères – *Intervals for collection of domestic waste – Messa Carrière 1 / 10 000.* ..... 127

**Figure 81:** Fréquence d'évacuation des ordures ménagères – *Intervals for collection of domestic waste – Ngoa-Ekélé 1 / 10 000.* ..... 127

<b>Figure 82:</b> Niveau d'éducation des populations du niveau primaire au niveau universitaire - Level of Education – Madagascar 1 / 10 000.....	130
<b>Figure 83:</b> Niveau d'éducation des populations du niveau primaire au niveau universitaire – Level of Education – Messa 1 / 10 000. ....	130
<b>Figure 84:</b> Niveau d'éducation des populations du niveau primaire au niveau universitaire - Level of Education – Ngoa-Ekélé. ....	131
<b>Figure 85:</b> Proportion de ménages ayant déclaré qu'il y a des installations ou installation gênantes dans leur entourage – Disturbances (general) in the living environment of households.....	132
<b>Figure 86:</b> Type d'installations ou d'activités qui nuisent dans l'entourage – Most frequent disturbances in the living environment – Madagascar 1 / 10 000.....	134
<b>Figure 87:</b> Gêne par des odeurs persistantes – Inconvenience because of constant smells – Madagascar 1 / 10 000.....	134
<b>Figure 88:</b> Type d'installations ou d'activités qui nuisent au cadre de vie – Most frequent disturbances in the living environment – Messa Carrière 1 / 10 000.....	135
<b>Figure 89:</b> Gêne par des odeurs persistantes – Inconvenience because of constant smells – Messa.Carrière 1 / 10 000.....	135
<b>Figure 90:</b> Type d'installations ou d'activités qui nuisent au cadre de vie – Most frequent disturbances in the living environment – Ngoa-Ekélé 1 / 10 000.....	136
<b>Figure 91:</b> Gêne par des odeurs persistantes – Inconvenience because of constant smells – Ngoa-Ekélé 1 / 10 000.....	136
<b>Figure 92:</b> Energie utilisée pour cuisiner – Energy used for cooking – Madagascar 1 / 10 000.....	138
<b>Figure 93:</b> Energie utilisée pour cuisiner – Energy used for cooking – Messa 1 / 10 000.....	138
<b>Figure 94:</b> Energie utilisée pour cuisiner – Energy used for cooking – Ngoa-Ekélé 1 / 10 000.....	139
<b>Figure 95:</b> Position du robinet dans le ménage – Proximity of tap water to household – Madagascar 1 / 10 000.....	140
<b>Figure 96:</b> Position du robinet dans le ménage – Proximity of tap water to household – Messa Carrière 1 / 10 000.....	141
<b>Figure 97:</b> Position du robinet dans le ménage – Proximity of tap water to household – Ngoa-Ekélé 1 / 10 000.....	141

<b>Figure 98:</b> Proportion des ménages utilisant le robinet avec d'autres ménages – <i>Proportion of shared use of taps.</i> .....	142
<b>Figure 99:</b> Proportion des ménages commercialisant l'eau – <i>Percentage of households selling water.</i> .....	142
<b>Figure 100:</b> (à gauche) Vendeur d'eau à Madagascar (décembre 2011) ; (à droite) en attente de la remise en fonctionnement du réseau, rue Max Kamwa (avril 2012) – <i>(left) Selling water at Madagascar (December 2011), (right) Waiting for the functioning of the network at Rue Max Kamwa (April 2012).</i> .....	143
<b>Figure 101:</b> Commercialisation d'eau de boisson – <i>Households reselling tap water – Madagascar 1 / 10 000.</i> .....	143
<b>Figure 102:</b> Commercialisation d'eau de boisson – <i>Households reselling tap water – Messa Carrière 1 / 10 000.</i> .....	144
<b>Figure 103:</b> Commercialisation d'eau de boisson – <i>Households reselling tap water – Ngoa-Ekélé 1 / 10 000.</i> .....	144
<b>Figure 104:</b> Nombreuses toilettes à fosse situées en amont de la source d'Apollo à Messa-Carrière – <i>Numerous pit-toilets situated upstream of the Apollo spring area at Messa-Carrière.</i> .....	146
<b>Figure 105:</b> Position du puits ou de la source par rapport aux toilettes – <i>Position of well or spring related to toilet – Madagascar 1 / 10 000.</i> .....	146
<b>Figure 106:</b> Position du puits ou de la source par rapport aux toilettes – <i>Position of well or spring related to toilet – Messa-Carrière 1 / 10 000.</i> .....	147
<b>Figure 107:</b> Position du puits ou de la source par rapport aux toilettes – <i>Position of well or spring related to toilet – Ngoa-Ekélé 1 / 10 000.</i> .....	147
<b>Figure 108:</b> Puits / source aménagé(e) – <i>Dug well / caught spring Madagascar 1 / 10 000.</i> .....	153
<b>Figure 109:</b> Puits / source aménagé(e) – <i>Dug well / caught spring Messa Carrière 1 / 10 000.</i> .....	154
<b>Figure 110:</b> Puits / source aménagé(e) – <i>Dug well / caught spring Ngoa Ekélé 1 / 10 000.</i> .....	154
<b>Figure 111:</b> Une double source non aménagée à faible débit à Apollo / Messa-Carrière est utilisée comme eau à boire, pour le fonctionnement du ménage, pour laver le linge et comme terrain de jeu.– <i>A unimproved double spring with low discharge at Apollo / Messa Carrière is used for drinking and household water, washing garments and playing.</i> .....	155

**Figure 112:** Maladies au cours des deux dernières semaines de l'enquête – *Diseases occurring within two weeks prior to the survey – Madagascar 1 / 10 000.*..... 160

**Figure 113:** Maladies au cours des deux dernières semaines de l'enquête – *Diseases occurring within two weeks prior to the survey – Messa Carrière 1 / 10 000.* ..... 160

**Figure 114:** Maladies au cours des deux dernières semaines de l'enquête – *Diseases occurring within two weeks prior to the survey – Ngoa Ekélé 1 / 10 000.* ..... 161

**Figure 115:** Répartition de la fréquence des valeurs Hb (par catégories) pour chaque année de naissance (de 2007 à 2011) – *Frequency distribution of Hb values (categorized) in the years of birth 2007 to 2011.* ..... 166

**Figure 116:** Crossplot of nitrogen-compounds (nitrate, Ammonium, nitrite and total inorganic nitrogen (TIN)) and chloride in Yaoundé groundwater and surface water distinguished by type of water point (station); axis values are in mg/l. .... 11.5-44

**Figure 117:** Concentration massique en azote inorganique total (TIN) aux points d'eau ..... 11.5-45

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1:</b> Échantillon-type et type de point d'eau avec les numéros des échantillons prélevés - <i>Sample-type and type of waterpoint with numbers of samples taken</i> .....	28
<b>Tableau 2:</b> Liste des paramètres analytiques utilisés dans l'EPESS - <i>List of analytical parameters used in the EPESS-study</i> .....	31
<b>Tableau 3:</b> Distribution d' <i>E. coli</i> et de coliformes totaux dans les prélèvements - <i>Summary of E. coli and Total coliforms in water samples</i> .....	37
<b>Tableau 4:</b> Distribution des entérocoques dans les échantillons d'eau - <i>Summary of Enterococci in water samples</i> .....	38
<b>Tableau 5:</b> Distribution des coliphages dans les échantillons d'eau - <i>Summary of Coliphages in water samples</i> .....	39
<b>Tableau 6:</b> Distribution des valeurs de pH dans les eaux souterraines et de surface - <i>Distribution of pH in ground- and surface water</i> .....	40
<b>Tableau 7:</b> Distribution des nitrates dans les eaux souterraines et de surface échantillonnées en avril 2012 à la fin de la saison sèche, groupées par types de lieux de prélèvement : puits, source, eaux souterraines, eaux superficielles, valeurs en mg/l - <i>Distribution of nitrate in groundwater and surface water sampled in April 2012 at the end of dry season additionally grouped by "shallow dug well (Puits)" and "spring (Source)"; values in mg/l</i> .....	46
<b>Tableau 8:</b> Distribution des valeurs d'ammonium dans les eaux souterraines et de surface échantillonnées en avril 2012 à la fin de la saison sèche, groupées par types de lieux de prélèvement : puits, source, eaux souterraines, eaux superficielles, valeurs en %. - <i>Distribution of ammonium in groundwater and surface water sampled April 2012 at the end of dry season grouped by "shallow dug well (Puits)", "spring (Source)", "groundwater (souterrain)" and "surface water (surface)"; values in mg/l</i> .....	52
<b>Tableau 9:</b> Distribution des valeurs de nitrites dans les eaux souterraines et de surface échantillonnées en avril 2012, à la fin de la saison sèche, groupées par types de lieux de prélèvement : puits, source, eaux souterraines, eaux superficielles, valeurs en % - <i>distribution of nitrite in groundwater and surface water sampled April 2012 at the end of dry season grouped by "shallow dug well (Puits)", "spring (Source)", "groundwater (souterrain)" and "surface water (surface); values in mg/l</i> .....	54
<b>Tableau 10:</b> Distribution des valeurs de phosphates dissous dans les eaux souterraines et de surface échantillonnées en avril 2012, à la fin de la saison sèche, groupées par types de lieux de prélèvement : puits, source, eaux souterraines, eaux superficielles, valeurs en % - <i>Distribution of dissolved phosphate in groundwater and surface water sampled April 2012 at the end of dry season grouped by "shallow dug well (Puits)", "spring (Source)", "groundwater (souterrain)" and "surface water (surface)"; values in mg/l</i> .....	55

**Tableau 11:** Distribution des valeurs en silice dissous dans les eaux souterraines et de surface échantillonnées en avril 2012 à la fin de la saison sèche, groupées par types de lieux de prélèvement : puits, source, eaux souterraines, eaux superficielles, valeurs en mg/l - *Distribution of dissolved silica in groundwater and surface water sampled April 2012 at the end of dry season grouped by "shallow dug well (Puits)", "spring (Source)", "groundwater (souterrain)" and "surface water (surface)"; values in mg/l. .... 56*

**Tableau 12:** Distribution des valeurs de Carbone Organique Total dans les eaux souterraines et de surface échantillonnées en avril 2012 à la fin de la saison sèche, groupées par types de lieux de prélèvement : puits, source, eaux souterraines, eaux de surface, valeurs en mg/l - *Distribution of total organic carbon (TOC) in groundwater and surface water sampled April 2012 at the end of dry season grouped by "shallow dug well (Puits)", "spring (Source)", "groundwater (souterrain)" and "surface water (surface)"; values in mg/l. .... 57*

**Tableau 13:** Distribution des Solides Dissous Totaux (SDT) dans les eaux souterraines et de surface échantillonnées en avril 2012 à la fin de la saison sèche, groupées par types de lieux de prélèvement : eaux souterraines, eaux superficielles, valeurs en mg/l - *Distribution of total dissolved solids (TDS) in groundwater and surface water sampled April 2012 at the end of dry season grouped by "shallow dug well (Puits)", "spring (Source)", "groundwater (souterrain)" and "surface water (surface)"; values in mg/l. .... 60*

**Tableau 14:** Distribution du sodium (Na) dans les eaux souterraines et de surface échantillonnées à la fin de la saison sèche, groupées par types de lieux de prélèvement : puits, source, eaux souterraines, eaux de surface, valeurs en mg/l - *Distribution of sodium (Na) in groundwater and surface water sampled at the end of dry season grouped by "dug well (Puits)", "spring (Source)", "groundwater (souterrain)" and "surface water (surface)"; values in mg/l. .... 61*

**Tableau 15:** Distribution du potassium (K) dans les eaux souterraines et de surface échantillonnées à la fin de la saison sèche, groupées par types de lieux de prélèvement : puits, source, eaux souterraines, eaux superficielles, valeurs en mg/l - *Distribution of potassium (K) in groundwater and surface water sampled at the end of dry season grouped by "shallow dug well (Puits)", "spring (Source)", "groundwater (souterrain)" and "surface water (surface)"; values in mg/l. .... 61*

**Tableau 16:** Matrice de coefficients de corrélation linéaire pour les principaux composés chimiques; rouge  $\geq 0.75$ , en gras  $>0.35$ , AIT et SDT sont parmi les paramètres analysés,  $n = 36$  - *Linear correlation coefficients matrix for chemical main components; red  $\geq 0.75$ , bold  $>0.35$ , TIN and TDS are summary parameters,  $n = 36$ . .... 64*

**Tableau 17:** Distribution du chlorure dans les échantillons d'eaux souterraines et de surface prélevés en avril 2012 à la fin de la saison sèche, groupés par types de lieux de prélèvement : puits, source, eaux souterraines, eaux superficielles, valeurs en mg/l - *Distribution of chloride (Cl-) in groundwater and surface water sampled April 2012 at the end of dry season grouped by "shallow dug well (Puits)", "spring (Source)", "groundwater (souterrain)" and "surface water (surface)". .... 67*

**Tableau 18:** Distribution des sulfates ( $SO_4^{2-}$ ) dans les eaux souterraines et de surface échantillonnées à la fin de la saison sèche, groupés par types de lieux de prélèvement : puits, source, eaux souterraines, eaux superficielles, valeurs en mg/l - *Distribution of sulfate ( $SO_4^{2-}$ ) in groundwater and surface water sampled at the end of dry season grouped by "shallow dug well (Puits)", "spring (Source)", "groundwater (souterrain)" and "surface water (surface)"; values in mg/l.* .....70

**Tableau 19:** Distribution spatiale du bicarbonate ( $HCO_3^-$ ) dans les eaux souterraines et de surface échantillonnées à la fin de la saison sèche, groupées par types de lieux de prélèvement : puits, source, eaux souterraines, eaux superficielles, valeurs en mg/l - *Distribution of bicarbonate ( $HCO_3^-$ ) in groundwater and surface water sampled at the end of dry season grouped by "shallow dug well (Puits)", "spring (Source)", "groundwater (souterrain)" and "surface water (surface)"; values in mg/l.* .....70

**Tableau 20:** Répartition de fer (Fe) dissous dans les eaux souterraines et de surface échantillonnées en avril 2012 à la fin de la saison sèche, groupées par types de lieux de prélèvement : puits, source, eaux souterraines, eaux superficielles, valeurs en mg/l - *Distribution of dissolved iron (Fe) in groundwater and surface water sampled April 2012 at the end of dry season grouped by "shallow dug well (Puits)", "spring (Source)", "groundwater (souterrain)" and "surface water (surface)"; values in mg/l.*.....76

**Tableau 21:** Répartition de manganèse (Mn) dissous dans les eaux souterraines et de surface échantillonnées en avril 2012, groupées par types de lieux de prélèvement : puits, source, eaux souterraines, eaux de surface, valeurs en mg/l.- *Distribution of dissolved manganese (Mn) in groundwater and surface water sampled April 2012 at the end of dry season grouped by "shallow dug well (Puits)", "spring (Source)", "groundwater (souterrain)" and "surface water (surface)"; values in mg/l.* .....77

**Tableau 22:** Répartition de l'aluminium (Al) dissous dans les eaux souterraines et de surface échantillonnées en avril 2012 à la fin de la saison sèche, groupées par types de lieux de prélèvement : puits, source, eaux souterraines, eaux de surface, valeurs en mg/l - *Distribution of "dissolved" aluminium (Al) in groundwater and surface water sampled April 2012 at the end of dry season grouped by "shallow dug well (Puits)", "spring (Source)", "groundwater (souterrain)" and "surface water (surface)"; values in mg/l.* .....78

**Tableau 23:** Gamme et moyenne de la signature isotope de l'oxygène-18 et du deutérium à Yaoundé à la fin de la saison sèche 2012 – *Range and mean of stable isotope signature of oxygene and deuterium in Yaounde at the end of dry season 2012.* .....80

**Tableau 24:** Moyenne de la signature isotopique en oxygène-18 et en deutérium des eaux souterraines de Yaoundé à la fin de la saison sèche par rapport à la pluie moyenne de Yaoundé – *Mean stable isotope signature of oxygene and deuterium in Yaoundé groundwater at the end of dry season 2012 in relation to mean Yaoundé rain water.*.....83

**Tableau 25:** Pourcentage équivalent du nitrate dans la somme des anions - *Equivalent percentage of nitrate in the sum of anions.* .....84

<b>Tableau 26:</b> Pourcentage équivalent de l'ammonium dans la somme des cations, pas d'ammonium dans l'eau minérale - <i>Equivalent percentage of ammonium in the sum of cations</i> .....	84
<b>Tableau 27:</b> Principale source d'approvisionnement en eau potable du ménage - <i>Principal drinking water source of households ; in %</i> .....	90
<b>Tableau 28:</b> Source alternative d'approvisionnement en eau potable du ménage en cas de pénurie (en %) - <i>Secondary sources of drinking water ; in %</i> .....	92
<b>Tableau 29:</b> Fréquence mensuelle des coupures d'eau (en %) - <i>Frequence of watercuts; in %</i> .....	95
<b>Tableau 30:</b> Disponibilité d'une source ou d'un puits près de la concession (en %) - <i>Availability of urban groundwater as a secondary drinking water source; in %</i> .....	99
<b>Tableau 31:</b> Puits/source aménagé (en %) – <i>State of equipment of the local groundwater point; in %</i> .....	99
<b>Tableau 32:</b> Temps nécessité pour rejoindre le point d'approvisionnement en eau potable le plus proche (en %) - <i>Time required to provide the household with water; in %</i> .....	102
<b>Tableau 33:</b> Mode de stockage de l'eau potable du ménage (en %) - <i>Storage methods of water reserves in households; in %</i> .....	103
<b>Tableau 34:</b> Principal mode d'évacuation des eaux usées du ménage – <i>Principal mode of household waste water, in %</i> .....	104
<b>Tableau 35:</b> Mode de canalisation des eaux des toilettes (en %) – <i>Modes to empty toilets; in %</i> .....	106
<b>Tableau 36:</b> Fréquence de vidange des fosses septiques durant les 10 dernières années - <i>Frequency to empty septic tanks; in %</i> .....	109
<b>Tableau 37:</b> Type de toilettes utilisées par le ménage (en %) - <i>Type of toilets used in households; in %</i> .....	109
<b>Tableau 38:</b> Pourcentage des ménages qui partagent les mêmes toilettes – <i>Percentage of houtholds using the same toilet; in %</i> .....	112
<b>Tableau 39:</b> Principal mode d'évacuation des ordures ménagères (en %) – <i>Primary modes of waste disposal; in %</i> .....	118
<b>Tableau 40:</b> Type de difficultés pour évacuer les ordures ménagères (en %) – <i>Types of difficulties disposing household wastes; in %</i> .....	122
<b>Tableau 41:</b> Fréquence d'évacuation des ordures ménagères - <i>Intervals for collection of household wastes; in %</i> .....	126

<b>Tableau 42:</b> Structure par âge et selon le genre (en %) – <i>Distribution of age and gender; in %.</i> .....	128
<b>Tableau 43:</b> État civil – <i>Civil status; in %.</i> .....	129
<b>Tableau 44:</b> Niveau d'éducation des populations dans les zones d'étude (en %) du niveau primaire au niveau universitaire – <i>Degree of formal training up to university level; in %.</i>	129
<b>Tableau 45:</b> Situation géographique du ménage (en %) – <i>Location of the households in relation to terrain; in %.</i> .....	132
<b>Tableau 46:</b> Type d'installations ou d'activités qui nuisent dans à proximité – <i>Most frequent disturbances in the living environment in %.</i> .....	133
<b>Tableau 47:</b> Énergie utilisée pour cuisiner - <i>Energy used for cooking; in %.</i> .....	137
<b>Tableau 48:</b> Position du robinet dans le ménage (en %) - <i>Proximity of tap water to households; in %.</i> .....	140
<b>Tableau 49:</b> Position du puits ou de la source par rapport aux toilettes (en %) – <i>Position of spring or source related to toilet ; in %.</i> .....	145
<b>Tableau 50:</b> Distance entre le puits/source et les toilettes – <i>Distance between the spring or source and the toilet; in %.</i> .....	148
<b>Tableau 51:</b> Niveau approximatif de risque de contamination de l'eau par l' <i>E. coli</i> selon la zone d'étude pendant la saison sèche (en %) – <i>Approximate level of risk of groundwater contamination by E. coli by spatial cluster during dry season; in %.</i> .....	149
<b>Tableau 52:</b> Niveau de risque de contamination de l'eau par le coliforme fécal selon la zone d'étude pendant la saison sèche (en %) – <i>Approximate risk of groundwater contamination by Fecal Coliforms by spatial cluster during dry season; in %.</i> .....	151
<b>Tableau 53:</b> Niveau de risque de contamination de l'eau par les nitrates (NO <sub>3</sub> ) selon la zone d'étude pendant la saison sèche, regroupé par sites d'étude (en %). – <i>Approximate level of risk of groundwater contamination by nitrate by spatial cluster during dry season; in %.</i> .....	151
<b>Tableau 54:</b> Niveau de risque de contamination de l'eau par l'ammonium (NH <sub>4</sub> ) selon la zone d'étude (en %) – <i>Approximate level of risk of groundwater contamination by ammonium by spatial cluster during dry season; in %.</i> .....	151
<b>Tableau 55:</b> Puits/source aménagé (en %) – <i>Dug well / caught spring; in %.</i> .....	153
<b>Tableau 56:</b> Type d'insectes et d'animaux présent dans le logement (en %). – <i>Type of insects and other animals present in the households; in %.</i> .....	157
<b>Tableau 57:</b> Apparition des maladies (en %) - <i>Occurrence of diseases; in %.</i> .....	158

**Tableau 58:** Nombre des personnes tombées malade dans la zone d'enquête suivant la distance entre le ménage et le point de prélèvement le plus proche – *Number of persons fallen ill according to the distance between the household and the nearest water point...* 159

**Tableau 59:** Prévalence des principales maladies (en %) – *Occurrence of diseases ( in %)*. ..... 159

**Tableau 60:** Prévalence des principales maladies liées à l'eau selon le sexe et la zone d'enquête (en %) – *Prevalence of principal water-borne diseases within two weeks prior to the survey ; in %*. ..... 162

**Tableau 61:** Prévalence des principales maladies liées à l'eau selon l'âge et la zone d'enquête (en %) – *Prevalence of principal water-borne diseases according to age and zone of survey; in %*. ..... 162

**Tableau 62:** Prévalence des principales maladies liées à l'eau selon le statut matrimonial et la zone d'enquête (en %) – *Prevalence of principal water-borne diseases according to marriage status and zone of survey; in %*. ..... 163

**Tableau 63:** Prévalence des principales maladies liées à l'eau selon le niveau d'instruction et la zone d'enquête (en %) – *Prevalence of principal water-borne diseases according to education and zone of survey; in %*. ..... 163

**Tableau 64:** Prévalence des principales maladies liées à l'eau selon le principal mode d'évacuation des eaux usées et la zone d'enquête (en %) – *Prevalence of principal water-borne diseases according to mode of household waste water disposal and zone of survey; in %*. ..... 164

**Tableau 65:** Prévalence des principales maladies liées à l'eau selon la distance entre le ménage et le point de prélèvement d'eau le plus proche et la zone d'enquête (en %) – *Prevalence of principal water-borne diseases as a function of distance between the household and the nearest sampled water point and zone of survey; in %*. ..... 164

**Tableau 66:** Nombre d'enfants pour chaque classe de valeurs d'hémoglobine – *Number of children for each class of hemoglobine values*. ..... 165

**Tableau 67:** Concentrations en *E. coli* et en entérobactéries aquatiques détectées avec l'utilisation de 3M Petrifilm dans les échantillons d'eau - *Concentrations of E. coli and Aquatic Enterobacteriaceae detected using 3M Petrifilm in water samples*. ..... 11.3-16

**Tableau 68:** Localisation des tous les points d'eau (stations) passés en revue et échantillonnés durant la campagne de prélèvement de l'étude EPESS, les coordonnées géographiques sont x\_long (longitude Est), y\_lat (latitude Nord) en degrés décimaux avec un système de coordonnée référence (SCR) EPSG-No. 4326 : système géodésique ellipsoïde WGS 84, géocentré et non projeté (géoïde), altitudes GPS données à des fins de distinction mais ne devraient pas être utilisées – *Locations of all water points (stations) visited and sampled during the EPESS sampling campaign, geographical coordinates are*

x\_long (longitude - easting), y\_lat (latitude- northing) in decimal degrees with coordinate reference system (CRS) EPSG-No. 4326: Ellipsoid WGS 84, earth-centered and unprojected, GPS-altitudes only given for differentiation and should not be used. ... 11.4-21

**Tableau 69:** Description des points d'eau (stations) passés en revue et échantillonnés durant la campagne de prélèvement EPESS – Description of the water points (stations) visited and sampled during the EPESS sampling campaign. .... 11.4.2-27

**Tableau 70:** Description des points d'eau (stations) passés en revue et échantillonnés durant la campagne de prélèvement EPESS, conductivité électrique (CE) en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – Description of the water points (stations) visited and sampled during the EPESS sampling campaign; Electrical conductivity (EC) in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . .... 11.4-32

**Tableau 71:** Principaux composés, incluant nutriments et éléments traces sélectionnés, des analyses chimiques inorganique, SDT et AIT sont des valeurs calculées, les valeurs négatives désignent les valeurs situées sous le seuil de détection, les nombres accolés aux symboles chimiques désignent une méthode analytique. – Main components including nutrients and selected trace elements of inorganic chemical water analysis, TDS and TIN are calculated values; negative values designate results below the detection limit, numbers attached to chemical symbols designate analytical method, ..... 11.4-36

**Tableau 72:** Isotopes stables de l'oxygène et l'hydrogène – Stable isotopes of oxygen and hydrogen, ..... 11.4-39

**Tableau 73:** Résultats microbiologiques, toutes méthodes confondues, les valeurs négatives sont celles situées sous le seuil de détection – Microbiological results, all methods; negative values are below the determination limit. .... 11.4-41

**Tableau 74:** Summary and descriptive distribution values of inorganic water quality parameters of groundwater and surface water samples taken in April 2012 at the end of dry season in Yaoundé grouped by "shallow dug well (Puits)", "spring (Source)", "groundwater (souterrain)", and "surface water (surface)". .... 11.6-46

**Tableau 75:** Classification des types d'échantillons d'eau selon le pourcentage équivalent de cation principal suivi d'anion principal. Seulement les ions  $\geq 20$  eq % sont listés, "\*" correspond aux ions avec plus de 50 eq% en somme de cation et d'anion - Classification of water types of samples according to the equivalent percentage of main cations followed by main anions. Only ions  $\geq 20$  eq.% are listed, "\*" denotes ions with more than 50 eq.% in sum of cations or sum of anions. .... 11.7-50

## Abbreviations and Technical Terms

### Institutions

AFNOR	Association Française de Normalisation <i>French Standardization organization</i>
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, <i>Institut fédéral des géosciences et des ressources naturelles,</i> <i>Federal Institute for Geoscience and Natural Resources, Hannover</i>
BMZ	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung <i>Ministère fédéral de la Coopération économique et du Development,</i> <i>Federal Ministry for Economic Cooperation and Development, Bonn</i>
Camwater	Cameroon Water Utilities Corporation, Yaoundé
HYSACAM	Hygiene and Health Company of Cameroon, Yaoundé
IDEXX	IDEXX Laboratories, Inc.
IHPH	Institut für Hygiene und öffentliche Gesundheit, <i>Institute for Hygiene and Public Health,</i>
INS	National Institute of Statistics, <i>Institut National de la Statistique, Yaoundé</i>
IRGM	Institute des Recherches Géologiques et Minières, Yaoundé
ISO	International Standard Organization <i>Organisation internationale de normalisation</i>
LAWA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser <i>German Working Group on Water Issues of the Federal States and the</i> <i>Federal Government</i>
LBEG	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, <i>State Authority of Mining, Energy and Geology, Hannover</i>
USEPA	United States Environmental Protection Agency, Washington
UY1, WWRU	University Yaoundé 1, Waste Water Research Unit
WHO, OMS	World Health Organisation, <i>Organisation mondiale de la Santé</i>

## Technical terms

a.s.l.	above sea level, <i>au-dessus du niveau de la mer</i>
AQEB	Aquatic Enterobacteriaceae
BTEX	Parameter group: benzene, toluene, ethylbenzene, xylene
cDCE	Cis-1,2-Dichloroethene
CFU	Colony forming unit
CSPRO	Census and Survey Processing System
cv	Coefficient of variation
CVOC	Parameter group: Chlorinated Volatile Organic Carbon
DCM	Dichloromethane
DNAPL	Dense non-aqueous phase liquid
DOC	Dissolved organic carbon
FGD	Focus group discussion
GC-MS	Gas Chromatography Mass Spectrometry
IC method	Ionic chromatography method
L	Litre
LNAPL	Light non-aqueous phase liquid
MPN	Most probable number
nv	Number of valid counts
n	Number, counts
NA	not available
NPOC	Non-purgeable organic carbon
ORP	Oxidation reduction potential
PCE	Tetrachlorethene
PFU	Plaque forming unit
RSD	Relative standard deviation
sd	Standard deviation
SOP	Standard Operation Procedure
TCE	Trichloroethene
TCM	Trichlormethane
TDS	Total dissolved solids [mg/l]
TIC	Total inorganic carbon

TIN	Total inorganic nitrogen
TOC	Total organic carbon
WaSH	Water, Sanitation and Hygiene
wr	working range
ZD	Zone de Dénombrement

## 1 Introduction

### **1.1 Contexte et justification de l'étude**

Avant d'être un problème technique, l'eau est d'abord une question sociale, politique, économique et environnementale. Selon Michel Camdessus cité par Roche Pierre (2003): d'ici à 2015, chaque jour, pour répondre aux engagements internationaux, il faudra desservir correctement en eau potable et en assainissement près de 100 000 habitants de plus. Les impacts environnementaux sont alors largement occultés par l'urgence de la satisfaction des besoins vitaux immédiats.

Aussi bien en milieu urbain qu'en milieu rural, les pays tropicaux souffrent cruellement d'un manque d'eau potable. La pollution de l'eau, dont les causes sont diverses: naturelles, domestiques, agricoles ou industrielles, est source de nombreuses maladies infectieuses ou toxiques.

Au Cameroun en particulier, cette ressource est certes abondante, mais sa qualité n'est pas toujours propre à la consommation. La croissance démographique que connaît le pays, avec ses conditions économiques difficiles, entraîne une urbanisation anarchique difficilement contrôlable. Celle-ci place aujourd'hui la question de l'eau potable comme un enjeu dans les domaines des ressources naturelles, de la santé et de l'environnement. Bien que la ville de Yaoundé dispose d'une abondante ressource en eau en moyenne, il n'en demeure pas moins qu'on constate une carence réelle en eau potable. Ce qui se répercute sur le système sanitaire de base.

Face à ce constat, des réalités s'imposent sur l'utilisation de l'eau à Yaoundé. Si cette ressource est indispensable à la vie, elle est très souvent une cause directe ou indirecte de mortalité ou de morbidité. La croissance de la population urbaine, combinée au développement économique caractérisé par un déficit en dispositifs de collecte des déchets, entraîne la contamination des ressources en eaux souterraines et de surface.

En effet, l'origine des pollutions peut être attribuée à diverses causes: défaut d'assainissement et de collecte des ordures ménagères, transfert des polluants à partir des couches superficielles, conditions de puisage et structure des installations, drainage des matières fécales dans la nature, surtout en saison des pluies. Cette pollution des eaux des cours d'eau et des lacs entraîne une dégradation de plus en plus accrue de la nappe phréatique superficielle. Ce qui constitue ainsi un risque sanitaire certain pour les populations.

Par ailleurs, l'insuffisance de cette ressource impose des comportements à risque de la part des populations dont les stratégies de ravitaillement reposent sur l'utilisation des puits, des sources, des cours d'eau et des lacs.

Au-delà des stratégies de ravitaillement en eau, l'implantation anarchique des populations et l'extension des quartiers dans des zones marécageuses constituent une réponse aux problèmes fonciers et autres contraintes d'accès au logement. Cette situation aggrave les problèmes de drainage des eaux pluviales et d'inondation dans ces zones, qui très souvent sont des foyers d'épidémies telles que le choléra.

Eu égard aux stratégies de survie qui constituent une réponse à l'insuffisance de l'offre par les pouvoirs publics, il est intéressant d'aborder l'impact en terme de risques sanitaires de la qualité de l'eau sur la santé des populations urbaines. Pour ce qui est des risques, les conditions qui rendent vulnérables les populations sont entre autres les mauvaises odeurs qui émanent des eaux usées, les mouches et moustiques qui se multiplient et qui sont à l'origine des maladies comme le paludisme, les diarrhées, les démangeaisons de la peau, les autres formes de contaminations qui proviennent de la consommation des eaux des puits, etc.

Cette problématique se justifie beaucoup plus dans les grandes métropoles comme Douala et Yaoundé. Ainsi, Yaoundé encore appelée ville aux "sept collines" est traversée de part et d'autres par des cours d'eau et des lacs. Ceux-ci ne sont pas entretenus et font l'objet de dépôts d'ordures de toute sorte (ménagères, des marchés, d'entreprises, etc.) constituées généralement d'amas de fer, de graisses, de matières plastiques et bien d'autres. Bien que les enquêtes statistiques auprès des ménages montrent que les sources d'eau utilisées pour les ménages sont en majorité des sources améliorées, la pauvreté qui y sévit et les coupures d'eau courante amènent les populations riveraines à s'y approvisionner pour d'autres usages (entretien de la maison, des véhicules, la vaisselle, et la lessive).

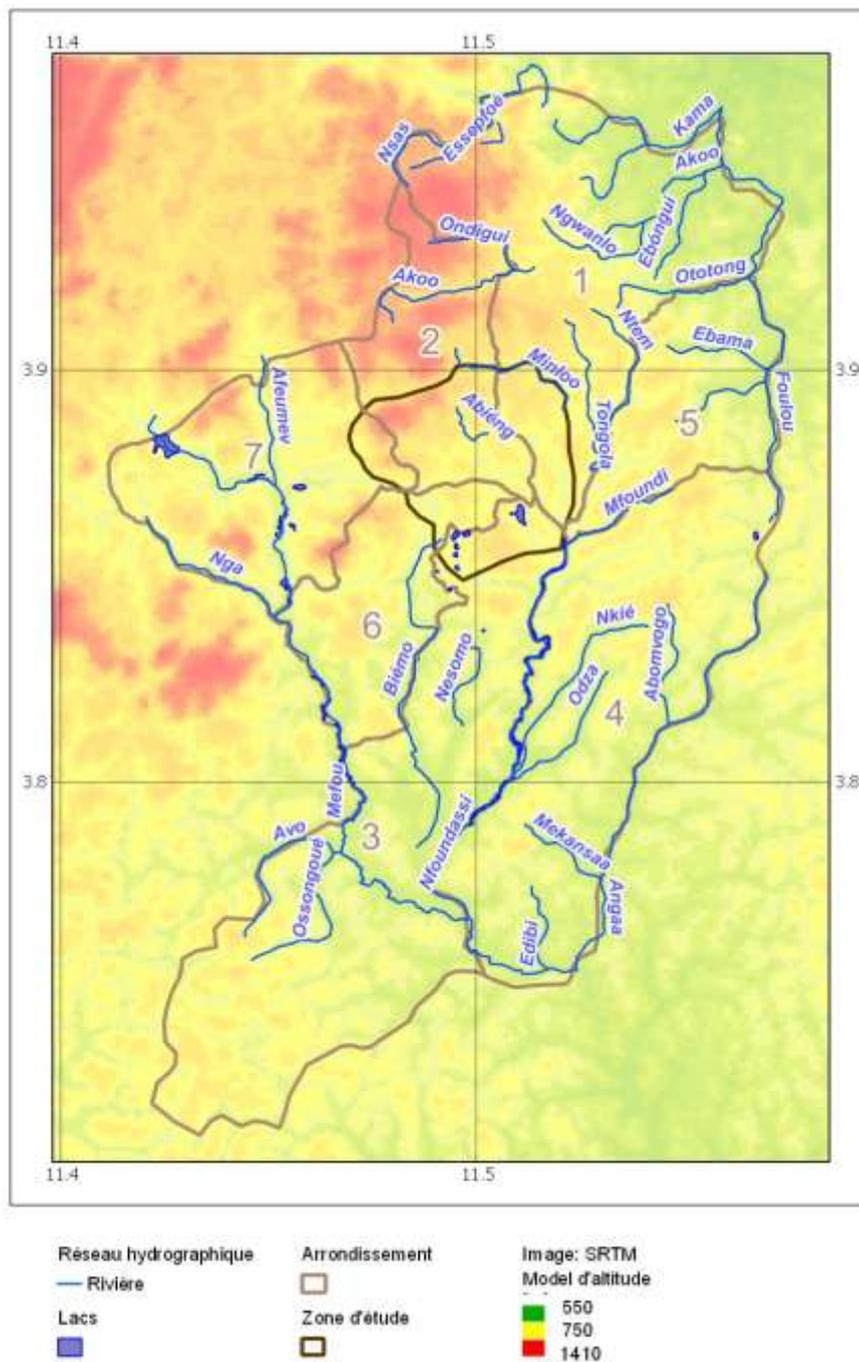
La plupart de ces lacs et étangs contiennent des poissons qui sont pêchés et vendus sur le marché local pour la consommation. Par ailleurs, ils constituent des foyers de développement des moustiques, vecteurs du paludisme qui est l'une des principales causes de morbidité et de mortalité des populations.

Cette étude pilote sur la pollution des eaux de surface et souterraines (EPESS) à Yaoundé et son impact sur la santé des populations riveraines est une opération de collecte des données qui est exécutée par l'Institut National de la Statistique (INS) en partenariat avec l'Institut Fédéral des Géosciences et des Ressources Naturelles (BGR) de Hannover, l'Institut d'Hygiène et de la Santé Publique de l'Université de Bonn en République Fédérale d'Allemagne et l'Université de Yaoundé 1.

## **1.2 Situation**

Ville cosmopolite, Yaoundé est la capitale du Cameroun et le chef-lieu de la province du centre. Yaoundé avait une superficie de 13614 ha / 136.14 km<sup>2</sup> en 2002 et une population d'environ 1.739 millions d'habitants en 2009 (projection démographique, BUCREP 2009). La zone urbanisée de Yaoundé couvre une superficie d'environ 256 km<sup>2</sup> et est limitée par les parallèles de latitude 3° et 5° Nord et les méridiens de longitude 11° et 12° Est.

L'altitude moyenne de Yaoundé est de 726 m avec une altitude minimum de 650m et une altitude maximum de 1200 (Mont Fébé).



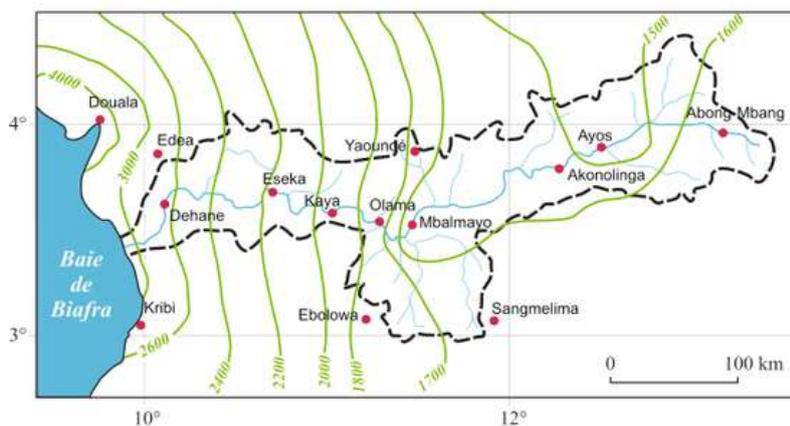
**Figure 1:** Réseau de drainage de la ville de Yaoundé selon le modèle de terrain SRTM<sup>1</sup>. Les arrondissements et la zone d'étude sont matérialisés - *Drainage network of the town of Yaoundé in relation to the SRTM-terrain model. Arrondissements and the study area are shown.*

<sup>1</sup> Shuttle Radar Topography Mission

### 1.3 Climat

Le climat est de type équatorial à quatre saisons qui s'alternent dans l'année: une grande saison sèche (Décembre - Février), une petite saison des pluies (Mars - Juin), une petite saison sèche (Juillet - Août) et une grande saison des pluies (Septembre - Novembre) (Suchel, 1972). Les précipitations moyennes annuelles à Yaoundé sont de 1600 mm (Figure 2), pour une température moyenne de 23°C (Olivry 1986). Cette répartition du climat résulte globalement de la circulation des masses d'air atmosphériques qui s'effectue de l'équateur vers les pôles et vice-versa, sous l'impulsion des vents appelés alizés. Les vents très fréquents sont humides et soufflent en direction du Sud-Ouest tandis que les vents violents sont orientés vers le nord-ouest.

La ville est entourée de 7 collines qui seraient responsables de son climat particulier et dont les plus élevées sont situées du côté Ouest et Nord-Ouest. La température de la ville de Yaoundé varie de 18°C à 28°C en saison humide et de 16°C à 31°C en saison sèche. La température moyenne annuelle est comprise entre 17°C et 30°C, étalée sur quatre saisons de cultures.

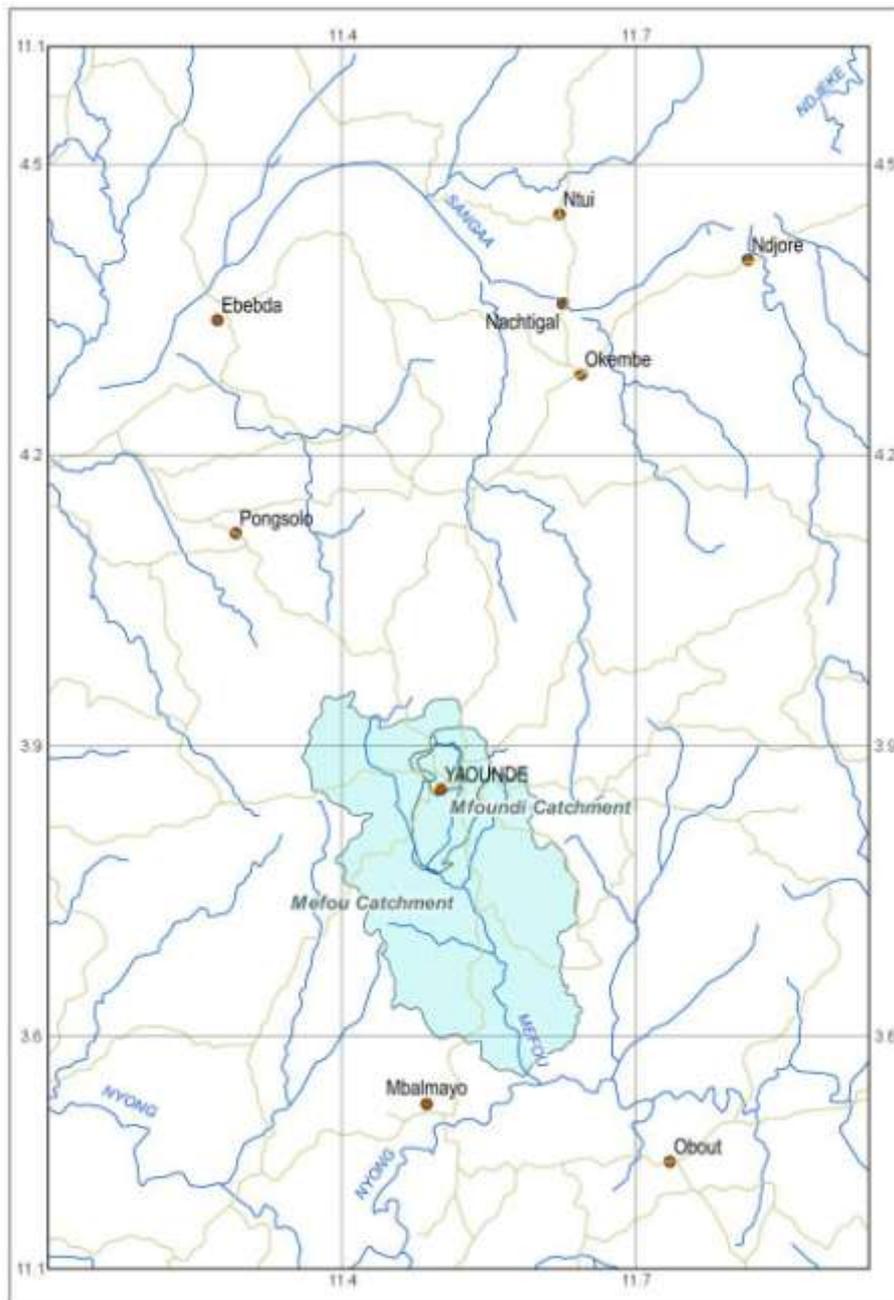


**Figure 2:** Isohyetes dans le bassin de drainage du Nyong - *Lines of equal annual precipitation (isohyets) in the Nyong drainage basin, with permission from [Bvet.omp.obs-mip.fr](http://Bvet.omp.obs-mip.fr).*

L'humidité relative minimum de Yaoundé varie de 50 à 70%, approximativement 10% de moins qu'à Douala avec près de 140 jours de pluie (Franquville 1968). L'intensité des précipitations est élevée avec 275 mm (moyenne sur 6 ans) pour la saison des pluies en octobre (Kebila, 2008).

### 1.4 Hydrologie

La ville de Yaoundé se situe exactement sur la ligne de partage des eaux entre le fleuve Sanaga et le fleuve Nyong. Ce fait hydrologique handicapant pour une grande ville, nécessite d'énormes quantités d'énergie pour acheminer l'eau potable. Le bassin versant du fleuve Sanaga constitue la limite Nord du bassin versant de Mefou (Figure 3). Les altitudes du fleuve Sanaga d'approximativement 384 m au pont Ebebda et 437 m au ferry Nachtigal indiquent pourquoi le Nyong a été privilégié pour servir de source principale d'eau brute pour la production d'eau potable de Yaoundé. Les besoins en énergie nécessaires au transport de l'eau y sont moins importants.



**Figure 3:** Situation de la capitale camerounaise Yaoundé en amont du bassin versant de la rivière Mefou, qui fait partie du bassin hydrologique du fleuve Nyong - Location of the Cameroonian capital Yaoundé at the head of the Mefou-catchment as part of the Nyong drainage basin.

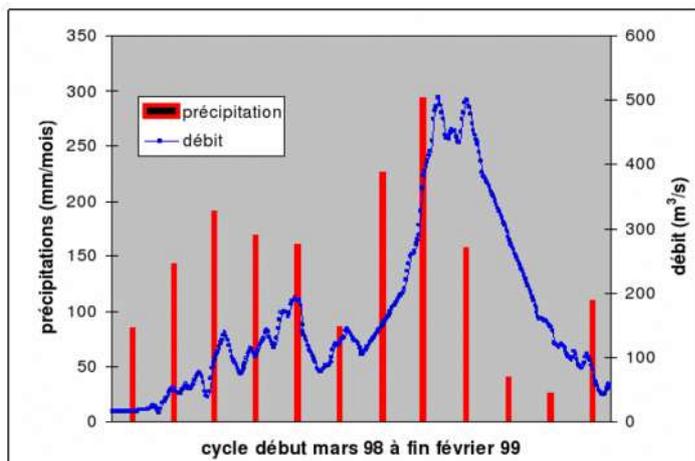
Le centre de Yaoundé est situé quelques kilomètres au Sud-Est d'une chaîne d'inselbergs (Figure 1) (montinsules), limitant ainsi la croissance de la ville au Nord et au Nord-Ouest. C'est de là que proviennent les sources qui donnent naissance à la rivière Mefou. Celle-ci s'écoule dans une direction générale Sud-Ouest jusqu'au fleuve Nyong, quelques kilomètres en amont du pont Est de la ville de Mbalmayo, où l'altitude de la rivière est de 639 m. C'est en amont de ce dernier point de rejet que se trouve la zone de captage actuelle des eaux brutes (Akomyada II) destinées à la production d'eau potable pour les habitants de la ville Yaoundé et de ses environs. Le bassin versant de Mefou couvre une surface de 809 km<sup>2</sup>. La station de jaugeage de Nsimalen réduit le bassin à 425 km<sup>2</sup>.

Le réseau hydrographique de la ville est très dense avec les rivières Mfoudi, Mfoulou, Anga'a ainsi que la rivière Mefou qui s'y écoulent. La rivière Mfoundi et ses affluents assurent le drainage naturel des eaux de ruissellement et des eaux superficielles qui sont rejetées dans le Nord-Est de Yaoundé ainsi que dans une grande partie de la zone étudiée. Ceux-ci assurent le drainage naturel des eaux de ruissellement et des eaux superficielles qui sont rejetées.

À côté de ces cours d'eau, la ville compte quelques lacs et étangs naturels ou artificiels dont les eaux sont rendues dangereuses pour la santé publique; à cause du déversement des eaux des stations d'épuration non fonctionnelles (cas du lac municipal), des ordures ménagères et des eaux des latrines situées dans les zones marécageuses.

Sur le plan morphologique, la ville compte quatre types de terrains qui sont: les crêtes de faible pente dont les terrains sont facilement urbanisables, les collines aménageables, les collines très difficiles à aménager, les fonds de vallée inondables.

Figure 4 montre les précipitations mensuelles et le débit du fleuve Nyong qui en résulte pour l'année hydrologique 1998. Le débit du Mefou est mesuré à Nsimalen. Ndam et al. (2007) donnent un débit mensuel moyen de 8.56 m<sup>3</sup>/s correspondant à un écoulement de surface de 635 mm/an. Le débit mesuré à Nsimalen varie d'environ 2-3 m<sup>3</sup>/s pendant la saison sèche à 10-15 m<sup>3</sup>/s pendant la saison des pluies (données de Kebila, 2008). La proportion d'eaux de ruissellement de surface est nettement plus élevée dans la zone densément urbanisée de Yaoundé (Ndam et al. 2007).

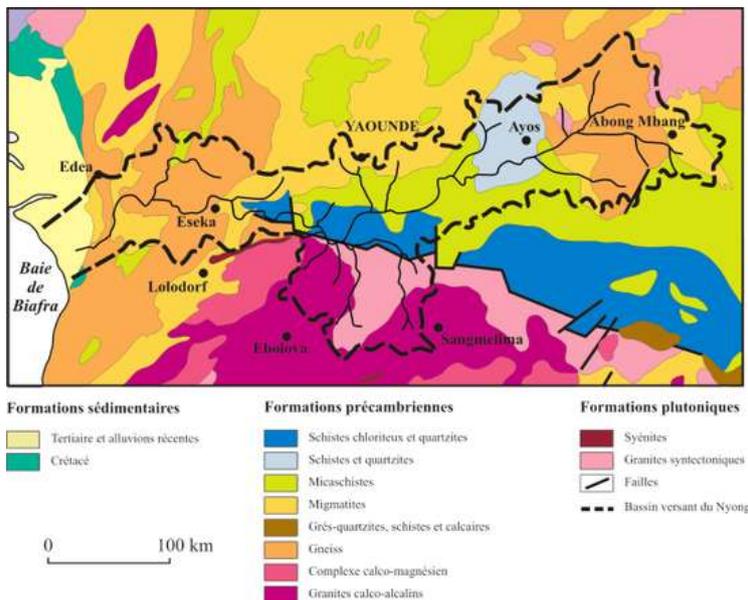


**Figure 4:** Précipitations et débit du fleuve Nyong mensuels durant l'année hydrologique 1998, avec autorisation de [Bvet.omp.obs-mip.fr](http://Bvet.omp.obs-mip.fr). - *Monthly precipitation and river discharge of the Nyong in the hydrologic year 1998, with permission from [Bvet.omp.obs-mip.fr](http://Bvet.omp.obs-mip.fr).*

## 1.5 Géologie, hydrogéologie et sols

Figure 5 (de [Bvet.omp.obs-mip.fr](http://Bvet.omp.obs-mip.fr)) montre la géologie des roches mères du bassin du fleuve Nyong, appartenant aux roches siliclastiques métasédimentaires de l'orogénèse Panafricaine, près de la marge Nord constituée par le craton du Congo. La zone Nord de la ville est identifiée comme étant constituée de migmatites alors que les micaschistes forment la partie Sud de la ville. Ball et al. (1984) décrit plusieurs affleurements ainsi que deux carrières dans la zone d'étude. Messa-Carrière, Cité Verte et Bois de St. Anastasie

présentent des gneiss légèrement gris à grenat-biotite-cyanite (disthène) à degré de métamorphisme élevé et d'apparence inaltérée sous la couverture latéritique.



**Figure 5:** Carte géologique de la roche mère du bassin du fleuve Nyong, avec autorisation de [Bvet.omp.obs-mip.fr](http://Bvet.omp.obs-mip.fr) - Geological map of source rocks of the Nyong river basin, with permission from [Bvet.omp.obs-mip.fr](http://Bvet.omp.obs-mip.fr).

Le substratum géologique formé d'embranchites<sup>2</sup> (gneiss massif riche en quartz) est fracturé, formant ainsi des réservoirs exploitables par les puits et les forages. Il est recouvert par des alluvions argilo sableuses dans les talwegs et des sols latéritiques sur les flancs des collines (Yongue-Fouateu, 1986).

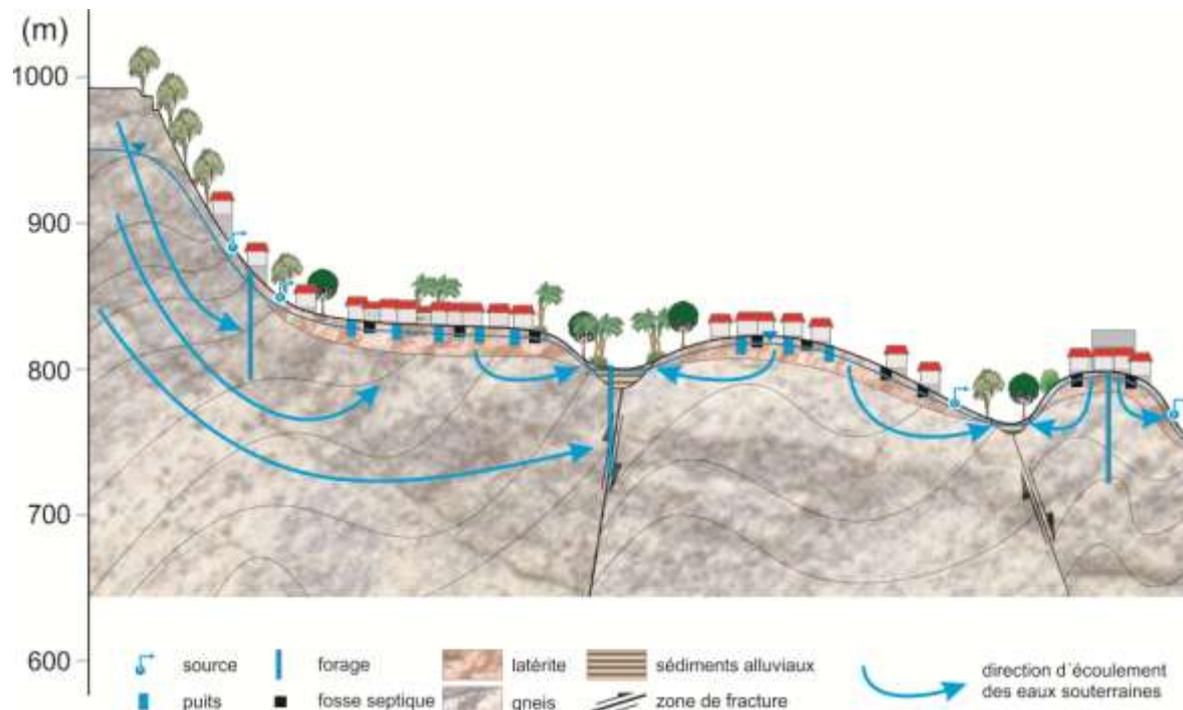
Sur le plan hydrogéologique, le socle cristallin de la région de Yaoundé est constitué essentiellement de deux aquifères superposés: un aquifère supérieur (nappes d'altérites) situé entre 5 et 20 m de profondeur au niveau des arènes et des altérites, et un aquifère inférieur (nappe de fractures et de fissures) dont les apports en eau se situent au delà de 20 m de profondeur et qui est localisé dans les zones de fractures du socle (Djeuda et al. 1999).

Ball et al. (1984) décrit la composition minéralogique<sup>3</sup> d'une roche de socle métamorphique inaltérée (gneiss) avec l'analyse de roches provenant de 2 carrières (carrières Messa (I) et Université (II)). Les minéraux primaires suivants sont observés dans l'ordre: quartz – microcline/plagioclase – grenat – biotite – muscovite – disthène (sillimanite) – zircon. Ball et al. (1984) souligne que la foliation structurale de la roche considérée à plus grande échelle est essentiellement subhorizontale. La foliation est mise en valeur par des alignements de cristaux de biotite et de graphite. Les minéraux primaires des gneiss I et II qui contiennent du fer (II) sont le grenat et la biotite (avec clinopyroxène pour II). Parmi les minéraux primaires du gneiss facilement réactifs au

<sup>2</sup> Migmatitic gneiss with the "Augen"-structure largely preserved

<sup>3</sup> Petrography and study of fabrics down to a microscopical scale

regard des conditions d'altération tropicales, on trouve des traces d'apatite qui donne du phosphore, de même que des traces de calcite ( $\text{CaCO}_3$ ). Cette dernière possède une capacité de tamponnage du pH dans le substratum fracturé mais non altéré.



**Figure 6:** Schéma de l'agencement hydrogéologique de terrain, aquifères, réseau hydrographique de Yaoundé, mis en relation avec l'aménagement urbain et les installations d'approvisionnement en eau locales et d'assainissement; surface de la nappe phréatique et lignes d'écoulement approximatives – *Sketch of the hydrogeological arrangement of terrain, aquifers, drainage network of Yaoundé in relation to urban settlement and decentralized installations of water supply and discharge; groundwater surface and flowlines only approximate - not to scale.*

Les produits d'altération et d'érosion du gneiss utilisés pour la fabrication de briques et de tuiles ont été décrits par Ngon Ngon et al. (2009) à 3 endroits le long du cours du Mefou. La carte donne un aperçu de la répartition des matériaux argileux dans la région de Yaoundé, et permet de montrer que la plupart des secteurs de la zone d'étude du projet EPESS sont soit classés comme « fine latérite argileuse sur les collines avec accumulation d'oxydes de fer dans le sol proche de la surface (740 – 780 m d'altitude) » soit comme « latérite argileuse assez épaisse sur les collines avec accumulation d'oxydes de fer dans le sol en profondeur (700 – 740 m d'altitude) ». Le minéral argileux kaolinite prédomine parmi les produits d'altération autochtones, suivi du minéral primaire (quartz) et des minéraux de fer secondaires (goéthite et hématite). Le minéral d'hématite est absent des dépôts alluviaux (Ngon Ngon et al. 2009).

Le mélange de minéraux primaires et secondaires présents dans les 2 aquifères de la région de Yaoundé constitue le contexte chimique typique des sols tropicaux avec une capacité d'échange de cations très faible et une réaction dans son ensemble située dans une gamme de pH acide (pH<5.5).

La composition minéralogique et élémentaire de la matière particulaire en suspens et colloïdale de l'eau de rivière du bassin versant du Nyong a été décrite avec l'exemple du bassin versant de Nsimi-Zoétéélé par Oliivié-Lauquet et al. (2000). L'eau limpide à Carbone Organique Total faible (COT<1 mg/l) et l'eau marécageuse, organiquement riche, avec un

COT élevé (COT>10mg/l) sont distinguées lors de phases de débit et de turbidité faibles. L'eau claire transporte de très faibles quantités de kaolinite, quartz et goethite. En plus de leur COT beaucoup plus élevé, les eaux marécageuses (brunes) contiennent diatomées et phytolites. Pendant la saison sèche, les sources et ruisseaux du bassin hydrographique de Yaoundé pourraient fournir de l'eau claire, si l'urbanisation n'était pas aussi dense.

L'export avec le débit de la rivière de sels et substances dissous a été décrit pour le bassin versant de Nsimi-Zoétéélé dans Braun et al. (2005), qui peut être considéré comme un analogue naturel représentatif d'une région inhabitée telle que le bassin supérieur du Mefou/Mfoundi, parce que possédant les mêmes propriétés hydrologiques et géologiques. Ce « soubassement géogénique » illustre bien l'impact des activités humaines sur la qualité de l'eau.

L'écoulement des eaux souterraines à Yaoundé est plus amplement discuté dans Fouepe Takounjou et al. (2009). En plus de précipitations annuelles de 1600 mm, ces auteurs fournissent les chiffres de 800 mm/an d'évapotranspiration potentielle et de 86 mm/an de recharge moyenne des eaux souterraines.

### ***1.6 Situation en matière de connaissance des projets sur l'eau, l'assainissement et l'hygiène dans la ville de Yaoundé - State of knowledge on WaSH-Projects in Yaoundé***

Un certain nombre d'études a été mené à Yaoundé sur l'eau, l'assainissement et l'hygiène (abrévié sous l'acronyme WaSH, pour Water Sanitation and Hygiene) et leurs différents aspects spécialisés.

L'approvisionnement en eau est largement rependu dans la ville de Yaoundé malgré la faible connexion des ménages aux réseaux d'adduction en eau (la Banque mondiale a estimé un taux de couverture 22 %) et donc une insuffisance dans la capacité de production (WSP, 2013)<sup>1</sup>.

Le Programme de surveillance conjoint OMS / UNICEF (Joint Monitoring Programme, JMP 2010), Progrès en matière d'assainissement et de l'eau potable: mise à jour en 2010 avait estimé que 92 % de la population urbaine avait accès à une source d'eau améliorée en 2008, comparativement à 77 % en 1990. Ce taux élevé place l'ensemble du secteur (urbain et rural) sur la bonne voie pour atteinte des objectifs des OMD pour l'eau potable. Selon le JMP, l'accès à un assainissement amélioré en milieu urbain a régressé entre 1990 et 2008, passant de 65 % à 56 %. Au vu de l'absence de progrès dans l'assainissement urbain, le Cameroun est certain de ne pas atteindre l'objectif du millénaire pour le développement concernant l'assainissement (WSP 2013).

Cette situation peut s'expliquer par la croissance très élevée de la population à Yaoundé et par la quasi-absence de fonds alloués au sous-secteur. Les systèmes d'assainissement dans le centre-ville datent de l'époque coloniale et sont bloqués en raison d'un manque d'entretien et de réhabilitation. Tandis que les systèmes en PVC les plus récents, dans les nouveaux quartiers ne peuvent pas être utilisés ceci étant due à l'absence de stations d'épuration opérationnelles. La majorité de la population dépend donc de latrines traditionnelles.

Au-delà des stratégies d'approvisionnement en eau potable, les constructions de manière informels et en particulier l'extension des quartiers non planifiés dans les bas-fonds (en réponse aux difficultés d'accès au logement), contribuent à aggraver le problème de drainage de l'eau de pluie et des inondations. Ces zones constituent le centre des épidémies récurrentes de choléra. En 2011, lors de la dernière grande épidémie de choléra du pays donc la prévalence s'élève à 22 433 cas d'après un rapport de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, référentiel Données global de l'Observatoire de la santé (WHO, Global Health Observatory Data Repository)).

Les travaux de Bemmo et *al.* (1998) axés sur le mode d'approvisionnement en eau, les pratiques d'assainissement dans les quartiers périurbains tels que Kondengui, Ekounou I, II et Mvog Ada (Yaoundé IV) ont présenté des statistiques sur les maladies hydriques en relation avec le traitement de l'eau des ménages. Ces auteurs avaient également analysé le pH, la conductivité électrique, l'azote ammoniacale, la DBO, les coliformes et streptocoques fécaux des eaux souterraines constituées de 16 sources et 18 puits avec une estimation de la consommation journalière et le nombre de personnes utilisant les points d'eau. Les résultats des analyses microbiologiques ont révélé que l'eau provenant de la majorité des points d'eau nécessitait un traitement. Pour évaluer le potentiel d'atténuation des sols locaux, Bemmo et *al.* (1998) ont menées des expériences sur les colonnes d'écoulements intermittents.

Tanawa et *al.* (1998) ont décrit les problèmes généraux d'approvisionnement en eau potable avec une référence aux problèmes économiques et structurels du secteur de l'approvisionnement public en eau. Un nombre limité d'échantillons d'eau souterraine provenant des puits et des sources, et un nombre limité de paramètres sans compter les nitrates ont été analysés à Yaoundé comparativement aux échantillons provenant de Bafia et Bafang.

Bosso Bosso (2000) avait fait état d'une alimentation nominale de l'eau potable en raison de 100 000 m<sup>3</sup> / j, en ligne avec la capacité du captage et traitement chimique d'eau de Mbalmayo. Avec les pertes d'eau du réseau estimées à 30 % seulement 33.5 % de la demande en eau de Yaoundé pourrait donc être satisfaite en l'an 2000.

Le statut, l'évolution historique, les lacunes et les difficultés structurelles de l'assainissement et du traitement des eaux usées à Yaoundé ont été étudiés par Tanawa et *al.* (2003). Le rapport comprenait la qualité de l'eau de surface de 12 stations d'échantillonnage en moyenne du réseau de drainage de Yaoundé. Les paramètres de traitement des eaux usées, tels que les nitrates, ammoniums, phosphores, demande biologique et chimique en oxygène, coliformes totaux et streptocoques fécaux ont permis de montrer le nombre de colonies présent et de les placer dans les classes de qualité IV (forte pollution) et V (pollution très forte). Les valeurs de pH de l'eau de surface était dans la plage neutre et la conductivité électrique variait entre 218 et 495 µS/cm à deux exceptions près.

Dumoutier (2003) a effectué une enquête basé sur l'analyse des risques sanitaires des échantillons de 37 puits et 30 sources. Le pH, la conductivité électrique, l'ammonium, le

fer dissous, les coliformes thermo-tolérants et streptocoques fécaux ont été analysés par Bemmo et *al.* (1999; 2001).

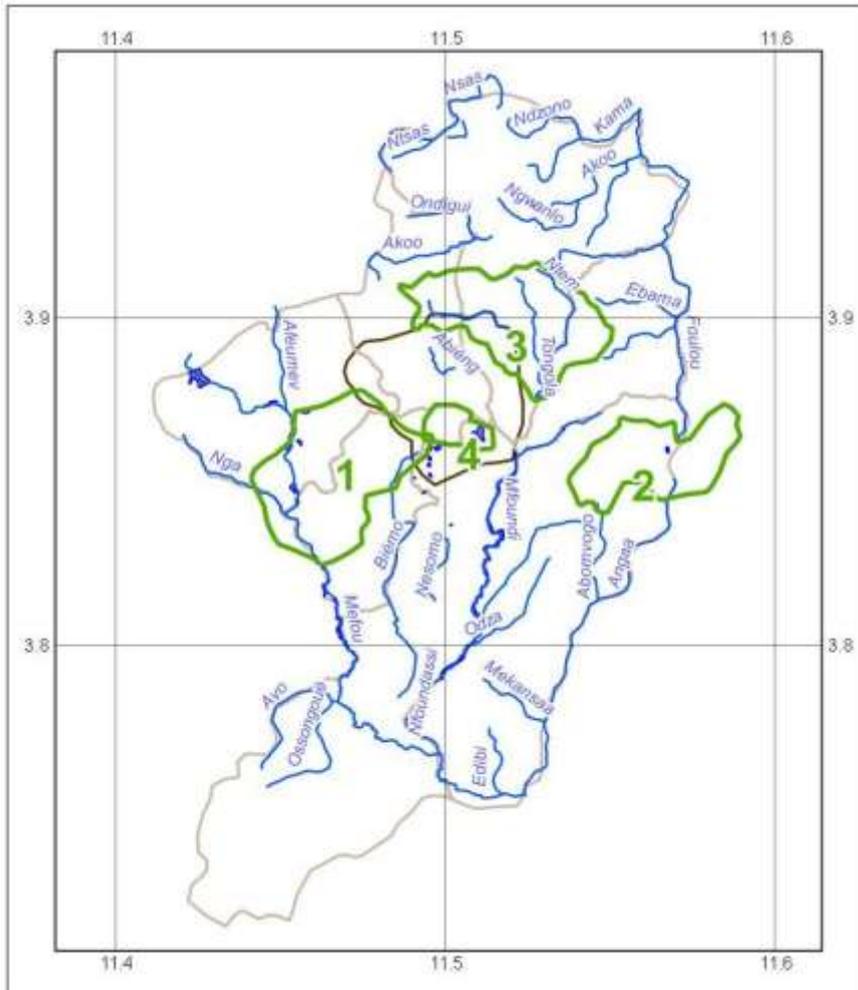
Dans le programme «Populations et Espaces à Risque Sanitaires (PERSAN)» de 2002-2005, 3034 ménages dans 20 quartiers représentant les trois catégories d'habitats planifiés et les trois catégories d'habitats spontanés ont été interrogés. Nguendo Yongsi et *al.* (2008) ont montré pendant la saison des pluies le lien qui existe entre le traitement des ordures ménagères (étape de pré collecte et de collecte) et la diarrhée chez les enfants de moins de 5 ans, avec un taux de prévalence de 15 %.

Nguendo Yongsi et *al.* (2009) ont résumé les effets du mauvais drainage des eaux de pluie et des inondations fréquentes dans les zones marécageuses sur la santé des populations. Ils ont présenté le lien empirique entre la position topographique et la prévalence diarrhéique, montrant ainsi que la population vivant dans les basses altitudes est plus sensible et présente de manière général une forte prévalence.

Nguendo Yongsi en 2011 avait décrit l'évolution historique de l'approvisionnement en eau potable dans la ville de Yaoundé et le faible pourcentage de branchement direct des ménages par rapport à d'autres villes en développement dans les régions tropicales. Dans leur étude, ils ont constaté un taux de branchement privé de 20 % et un taux de branchement semi-privé de 37 %. Il a indiqué que l'utilisation des sources comme alternative à l'approvisionnement primaire en eau potable s'élevait à 8 % et l'utilisation de puits (sans discrimination faites) était de 3 %. Pour des besoins de sources d'eau de remplacement, l'utilisation de puits et les sources ont augmenté considérablement. L'ensemble de méthodes de captage, de conservation et de stockage de l'eau a domicile, de même que le traitement de l'eau avant consommation ont été donnés. La pratique de stockage de l'eau potable dans des récipients ouverts par les ménages a été montrée comme étant sujette aux risques. Il a décrit que 54 % des ménages ne traite pas leur eau avant la consommation. Parmi ceux qui disent traiter leur eau, les méthodes signalées sont 57 % le filtrage, suivie de 33 % par l'ébullition et enfin 10 % par la désinfection.

Nguendo Yongsi (2011b) a publié les résultats des analyses effectués pendant la saison des pluies de 2008 sur 508 échantillons d'eau potable dans cinq quartiers urbains (Mvog Ada , Messa Carrières , Nkolndongo , Elig Edzea , Obili, Etoug-Ebe) pour déterminer respectivement les 19 genres et espèces des Enterobacteriaceae. La technique d'échantillonnage a été basée sur les modes de stockage des eaux dans les ménages individuels. Des échantillons d'eau courante provenaient de 302 ménages et 25 bornes fontaines communautaires, les eaux souterraines quand a eux provenaient de 154 puits et de 25 sources. Tous les échantillons d'eau souterraine ont dépassé la valeur guide en ce qui concerne le nombre de bactéries totales. Le même constat est également effectué pour la grande majorité des échantillons d'eau provenant des ménages. Une analyse plus spécifique de la fréquence des résultats positifs des genres considérés, a montré des tendances similaires de contamination pour les trois sources alternatives d'approvisionnement en eau à la seule exception près de celui de bornes fontaines communautaires. Le genre *Salmonella* spp a été également trouvé dans 4 % des échantillons. Les trois sources alternatives diffèrent par leurs petites concentrations (juste,

pauvre, très pauvre). La qualité des eaux souterraines provenant des puits et des sources présentait des teneurs très pauvres en coliformes totaux et fécaux. Les streptocoques fécaux des sources, des puits et des échantillons de ménages étaient cependant à un niveau comparable. *Les modes de stockage d'eau des ménages individuels ont été ainsi présentés pour montrer les risques bactériologiques semblables à ceux des échantillons d'eau souterraine initialement contaminés.*



**Figure 7:** Choix des études en relation avec le projet WaSH à Yaoundé avec mise en valeur des eaux souterraines - Choice of WaSH-related studies in Yaoundé with an emphasis on groundwater; « 1 » Ewodo et al. (2009), « 2 » Fouepe Takounjou et al. (2009, 2013), « 3 » Kuitcha et al. (2008, 2010, 2013) and « 4 » Ngnikam et al. (2004, 2007, 2008).

Djeuda Tchapnga et al. (1999) avaient travaillé sur la dynamique des eaux souterraines du bassin versant de l'Anga'a (Yaoundé IV). Ils ont décrit l'aquifère poreux supérieur comme un système ouvert, à ouverture hydrochimique avec une recharge périodique directe des eaux souterraines sujettes à la contamination. Fouepe Takounjou et al. (2009) ont numériquement modélisé l'écoulement des eaux souterraines dans le bassin supérieur de l'Anga'a. La zone d'étude «2» est représenté sur la Figure 7. Ils ont trouvé des vitesses maximales des eaux souterraines de l'ordre de 0.21 m / j en saison sèche et a conclu que le débit de base de l' Anga'a doit être alimenté par la remontée des eaux souterraines.

Fouepe Takounjou et al. (2013) a étendu le modèle pour comprendre le transport des SDT (TDS) et des nitrates comme des paramètres importants de la qualité de l'eau, en supposant qu'il n'y a aucune dénitrification. De la modélisation de la migration des panaches de nitrates à partir de deux sources connues, ils ont prédit que la contamination des eaux souterraines pourrait atteindre la limite de l'OMS pour les nitrates dans l'avenir. Ils accusent la forte densité de latrines ( $443/\text{km}^2$ ) et leur importance dans l'apport des charges en éléments nutritifs comme une source non quasi ponctuelle.

De 2003-2005 des études sur l'approche de la santé humaine ont été menées dans un grand écosystème urbain et Oliete Josa en 2002 a effectué des mesures pilotes pour améliorer les conditions de vie dans les quartiers Melen et Elig Efa. Ngnikam et al. (2004, 2007, 2008) avaient travaillé sur la relation entre le débit des eaux usées et la qualité des eaux souterraines dans le bassin versant supérieur de la Mingoa. La zone d'étude «4» est représentée sur la Figure 7. Le Laboratoire d'Environnement et des Sciences de l'Eau (LESEAU) avaient effectué des observations sur 37 puits, 7 sources et un court d'eau dans une zone de 19 ha pour une année hydrologique. Ils ont noté une concentration moyenne de conductibilité électrique de l'ordre de  $400 \mu\text{S}/\text{cm}$  et un pH acide donc les valeurs sont situées entre 5.3 et 6 unités. La concentration moyenne en nitrate est de  $10 \text{ mg}/\text{l}$  pour les puits,  $27 \text{ mg}/\text{l}$  pour les sources et la valeur la plus élevée est pour l'eau de surface avec  $75 \text{ mg}/\text{l}$ . Une concentration moyenne extrêmement élevée de  $20 \text{ mg}/\text{l}$  d'ammonium a été observée. Ils ont mesuré les teneurs en streptocoques fécaux et coliformes dans les eaux souterraines et ont conclu que, tout en étant impropres à la consommation humaine, l'eau n'est pas non plus appropriée pour l'hygiène corporelle et domestique. Ils ont estimé de courtes durées de transit des latrines à la nappe phréatique entre 59 min et 7 h 30 min pour 85 % des toilettes, ceci se produisant dans une densité de 40 toilette par hectare. Pour ces habitats situés dans le centre urbain, en amont du lac municipal, ils ont montrés le fort impact de l'assainissement autonome sur la qualité des eaux souterraines peu profondes et fait l'état d'une forte prévalence de la diarrhée et des parasites intestinaux chez 400 enfants de moins de 5 ans. Ils ont montré que la fréquence de la diarrhée chez les enfants évoluait en fonction de la distance selon qu'on soit situé en haut de la pente, ce qui suggère des causes multiples (Ngnikam et al., 2007). Tabue Youmbi et al. (2009) ont discutés de la nécessité de construire un périmètre de protection autour des points d'eaux souterraines locales pour le bassin versant Mingoa.

Ewodo et al. (2009) ont étudié le développement périurbain au sein du bassin versant de Mingo (Yaoundé VI) à l'aide d'une enquête quantitative qui portait sur la décentralisation de l'approvisionnement en eaux souterraines, la centralisation de la zone de couverture de l'approvisionnement en eau et sur l'assainissement décentralisé. La zone d'étude «1» est représentée sur la Figure 7. Ils ont constaté que la densité de logement a augmenté, allant de  $146/\text{km}^2$  en 1970 à  $1086/\text{km}^2$  en 2005. Ils ont également confirmé la dynamique générale des habitats qui vont des plateaux vers le bas-fond et les zones marécageuses. 47 puits et sept sources ont été échantillonnés sur un total de 623 puits correspondant à une densité de  $163/\text{km}^2$ . Tandis que les sources ont été caractérisées par une faible concentration moyenne en conductivité électrique de l'ordre de  $100 \mu\text{S}/\text{cm}$ , dans l'eau de puits on a trouvé les teneurs moyennes en conductivité électrique pouvant atteindre jusqu'à  $400 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Ceci constitue un signe clair de

contamination d'origine anthropique des eaux souterraines. Sur la base des analyses microbiologiques effectuées sur les paramètres totaux tels que la flore de mésophile, les coliformes totaux, les coliformes et streptocoques fécaux, ils ont recommandé immédiatement les pratiques régulières de désinfection, la construction et la maintenance des puits améliorés, la sensibilisation et l'extension des services urbains de base.

Mougoue et al. (2012) ont fait des études sur le statut et les pratiques actuelles de gestion des boues de vidange à Yaoundé en comparaison avec ceux de Douala. Les services sont non coordonnés, organisés en privé et caractérisés par des équipements vieillissants. Le coût de drainage moyen pour une toilette privée varie entre 88000 FCFA et 17000 FCFA/m<sup>3</sup>. Les boues de vidange ne sont pas traitées et la gestion de ces boues sur les sites de dépôt est mauvaise.

Ateba Bessa et al. (2012) ont échantillonné les eaux de surface dans 13 points d'échantillonnage pendant une année (2010-2011) avec des campagnes de prélèvement de l'ordre de deux fois par mois pour l'analyse de *Salmonella* spp. L'objectif de cette étude était basé sur l'occurrence et la variabilité temporelle de cet important agent pathogène dans le réseau de drainage ainsi que ceux des paramètres physico-chimiques. La fréquence de prélèvement dans les 13 points d'échantillonnage était comprise entre 20 et 63 %. Ceci a été observé à l'aide d'un motif de fréquence connecté à la décharge. Les résultats obtenus ont montré que les conductivités électriques moyennes variaient entre 220 et 430  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Le pH moyen était toujours dans la plage neutre, en accord avec une alcalinité moyenne située entre 1 et 2  $\text{m}\text{éq}/\text{L}$ . Ateba Bessa et al. (2012) ont clairement démontré que le risque immédiat encouru par les eaux de surface de Yaoundé est dû à la forte charge de matière avec la présence des bactéries pathogènes présentes dans ces eaux de surface et des eaux usées.

Fouepe Takounjou et al. (2011) a présenté la qualité inorganique des eaux souterraines de 14 sources et 19 puits, échantillonnés en 2009. En mettant l'accent sur le bassin versant du Mfoundi, ils ont trouvé les teneurs en nitrate dépassant les limites l'OMS qui est de 50 mg/l pour 53 % des puits et 36 % des sources, avec des concentrations de nitrates dans 5 puits au-dessus de 100 mg/l. Ils ont identifié trois types géochimiques d'eaux souterraines sur la base des sels dissous et une tendance de composition qu'ils ont attribué soit à : a) lessivage des latrines et b) l'utilisation d'engrais. La forte vulnérabilité des réserves urbaines en eau souterraine avec comme référence spéciale les concentrations de nitrates dépassant le seuil a été démontrée par Fouepe Takounjou et al. (2011).

Kuitcha et al. (2008) ont publié une étude quantitative de 1397 ménages dans 7 quartiers non planifiés (Bankolo, Etoa-Meki, Ngouso, Nkoleton, Rue Manguier, Etoudi et Tongolo) dans le bassin supérieur de la rivière Mfoundi (Yaoundé I, II). En plus de la structure sociale générale, ils ont interrogés les ménages sur l'aspect WaSH comme transport de l'eau, les types de toilettes et le type de dispositifs d'assainissement, la gestion des déchets ménagers ainsi que la prévalence des maladies d'origine hydrique, tels que les diarrhées, la dysenterie amibienne, les maladies de la peau et la typhoïde, le taux de prévalence de la diarrhée trouvés était de l'ordre de 25 %. Ils ont souligné la nécessité de

l'éducation, la sensibilisation, la participation et la priorité de la filière Eau et Assainissement.

Kuitcha et al. (2010) ont décrit la qualité microbienne des eaux souterraines par échantillonnage 6 puits, 3 sources et 3 points des sous-bassins (Mfoundi, Tongolo, Ntem) de la rivière supérieure Mfoundi pendant un an (2006-2007). La zone d'étude «3» est représenté sur la Figure 7. Les coliformes et streptocoques fécaux ont été déterminées quantitativement, tandis que la présence de 10 espèces / genres différents a été vérifiée. Ils n'ont trouvés ni *Vibrio cholerae* ni *Salmonella*, toutefois tous les points d'eau avaient une contamination inacceptable de coliformes fécaux. La contamination des puits ont été systématiquement plus élevé que les sources. Kuitcha et al. (2010) ont conclu que des mesures d'urgence immédiates à la fois sur le côté de l'approvisionnement en eau potable (volume et accès) et du côté de la désinfection (désinfection solaire) étaient nécessaires pour réduire la forte prévalence de maladies hydriques chez la population.

Kuitcha et al. (2013) ont décrit la qualité des eaux souterraines à travers un échantillonnage répété de six puits et 3 sources en 2008 dans le sous-bassin décrit dans Kuitcha et al. (2010). Ils ont trouvé la présence de nitrate dans 62 % des échantillons avec les limites supérieur à celle de l'OMS qui est de 50 mg / L. Ils ont trouvé que l'anion dominant était le nitrate suivi du chlorure. Ils ont décrit la forte association et corrélation du sodium, potassium et chlorure dans une eau de type Na-K-Cl. Ils ont discuté d'un fort contrôle de l'altération des silicates sur la composition cationique de l'eau souterraine. Ils ont estimé un temps de séjour moyen des eaux souterraines conformément à un système géochimique ouvert. De l'application des isotopes stables, ils ont trouvé une grande variabilité spatiale et ont conclu que l'eau souterraine est rechargée directement sans évaporation.

Fanton et al. (2013) a produit une série de temps de qualité des eaux souterraines à partir de 11 sources et 3 puits dans le bassin versant d'Akok Ndoue (Yaoundé VII) sur les bas de pente d'une montagne de gneiss pour une année hydrologique. Ils ont mesuré la variabilité des paramètres de qualité de l'eau de la conductivité électrique, des nitrates, du pH et OD en fonction de la décharge ou du niveau de l'eau. Cinq sources plus haut sur la pente avaient déjà montré des concentrations notables de nitrate inférieures à 20 mg/l. A quelques 100 m en bas de pente plusieurs sources ont dépassé la limite de l'OMS de 50 mg/l pour plusieurs mois. Fanton et al. (2013) ont trouvé une corrélation inverse entre le nitrate et OD. Ils ont conclu que l'application d'engrais contenant de l'ammoniac et la dénitrification sont responsables de cette relation. La différence entre les concentrations maximales et minimales de nitrate d'une source ou d'un puits peut-être de 2 à 5 fois petit. Les valeurs extrême de la conductivité électrique obtenu au-dessus de 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ont été trouvés dans cette zone périurbaine de Yaoundé. Fanton et al. (2013) ont trouvé que la conductivité électrique de l'eau de pluie se situait entre 6 et 23  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et le pH était de 5.5 et de 8.3 dans la ville de Yaoundé.

Elle peut être résumée par le fait que, les scientifiques camerounais de la période allant de 1999 à 2013 ont fait et publié un nombre important d'études sur la qualité des ressources en eaux souterraines et de surface en milieu urbain, sur la gestion et le

stockage de l'eau, sur les dispositifs d'assainissement, et enfin sur les maladies hydriques. La liste des articles scientifiques et des rapports de projet (pour accessibilité) cités ici, sont loin d'être complète. Ils illustrent plutôt la portée générale de recherche sur l'eau, sur l'assainissement et sur la santé (WaSH) à Yaoundé, les différentes approches, les surfaces et la qualité des ensembles de données produites. Les types de paramètres de qualité mesurés étant diversifiés avec le temps, ainsi les conclusions plus spécifiques pourraient être données avec les progrès de la recherche. Ces études portent sur les sources et les processus de contamination. Ils décrivent le degré de contamination microbiologique et chimique des points d'eau souterraine et de surface en milieu urbain. Ils décrivent les dangers par les bactéries pathogènes immédiats pour la santé de la population urbaine. Ils recommandent d'urgence qu'une série de mesures qui doivent être prises et suivies pour améliorer la situation désastreuse rencontrées par la population dans leur vie quotidienne. La plupart de ces mesures seront prises de nouveau dans le chapitre 8 de ce présent rapport qui a pour but de favoriser l'intégration et l'échange de connaissances déjà présent dans divers endroits.

## **2 Objectifs**

### **2.1 Objectif général**

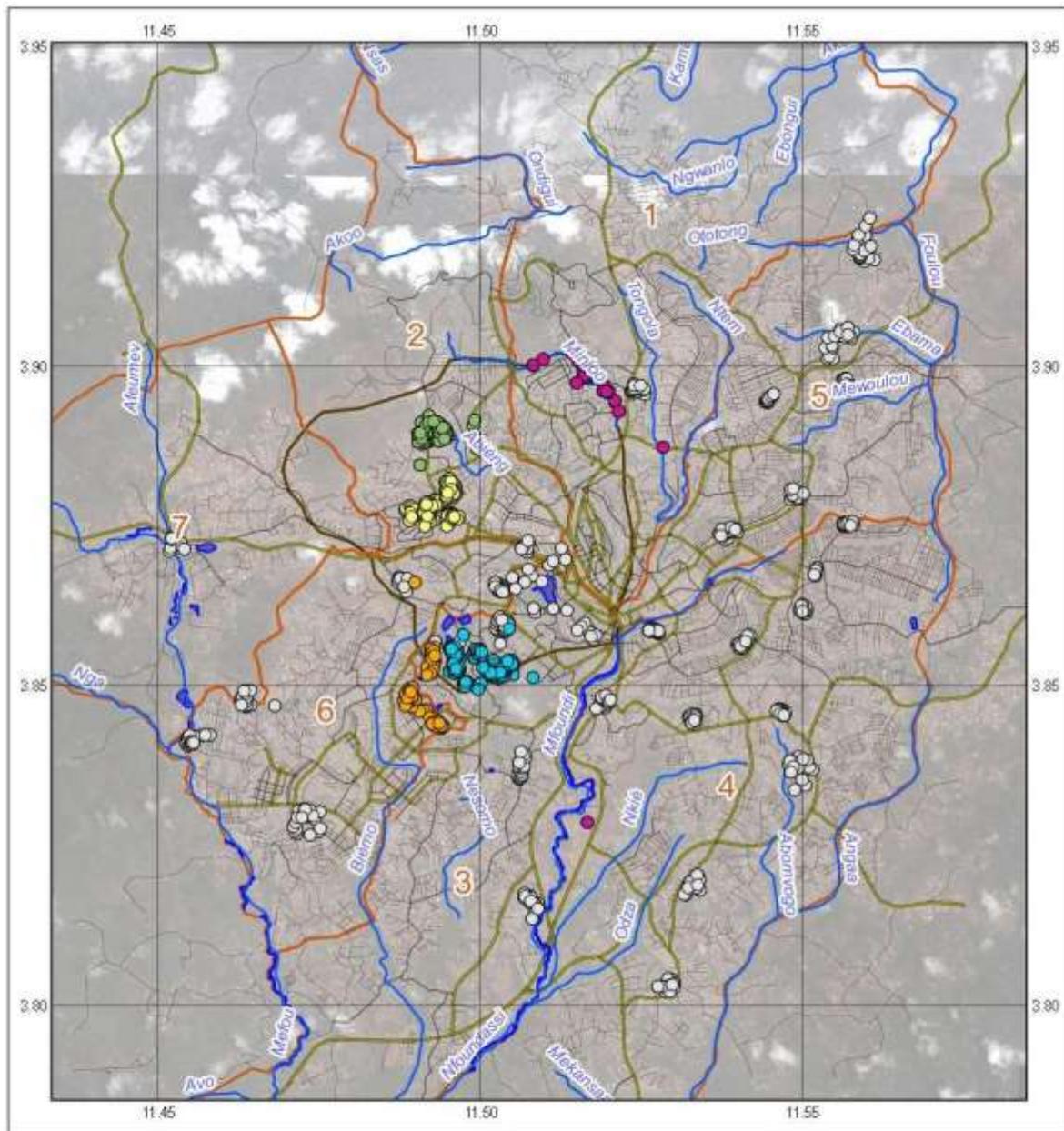
Le projet a pour principal objectif de contribuer à la gestion durable de l'environnement dans la ville de Yaoundé pour l'amélioration des conditions de vie de ses populations.

### **2.2 Objectifs spécifiques**

Pour atteindre cet objectif général, il s'est agi principalement pour le volet enquête auprès des ménages riverains de l'étude de:

- déterminer les types d'usage des eaux des cours d'eau, des puits, et des lacs dans la ville de Yaoundé;
- identifier les populations à risque;
- appréhender le niveau de connaissance et de perception des populations sur la qualité de l'eau;
- identifier les modes d'évacuation des eaux usées et des ordures ménagères par les ménages;
- calculer les indicateurs sur les maladies liées à l'eau dans les populations riveraines (paludisme, diarrhées, fièvre typhoïde, maladie de la peau, dysenterie amibienne, etc.).
- disposer d'une base de données pour alimenter les politiques en données fiables en vue d'une gestion durable de l'environnement;
- élaborer des indicateurs pour la formulation des stratégies et dispositifs en vue d'un entretien, d'un assainissement permanent des différentes ressources en eau de la ville;

La croissance de la population urbaine combinée au développement économique, sans dispositions suffisantes des mesures d'assainissement, entraîne la pollution des ressources en eaux souterraines et de surface.



- |   |                       |                         |
|---|-----------------------|-------------------------|
| Ménages consulté dans l'enquête                           | Réseau hydrographique | Arrondissement          |
| ● Ekoudo  | — Rivière             | — Zone d'étude          |
| ● Ngoa Ekélé  | ■ Lacs                | ■ Données satellitaires |
| ● Byem Assi   | — Routes              | Google Earth (08.2010)  |
| ● Madagascar  | — Route principale    |                         |
| ● Messa Camiéra   | — Route secondaire    |                         |
| ○ Ménages consulté mais n'intégré pas dans l'étude pilote | — Rue                 |                         |

**Figure 8:** Localisation des ménages pour l'étude EPESS quantitative - *Location of households for the quantitative EPESS survey.*

## **3 Methodes**

### **3.1 Enquête quantitative auprès des ménages riverains - Water, Sanitation and Health Survey**

#### **3.1.1 Constitution de l'échantillon**

L'échantillon est réalisé dans le but d'obtenir des estimations sur des indicateurs calculés. La base de sondage de l'EPESS est constituée des zones de dénombrement (ZD) et est issue des travaux cartographiques du dernier Recensement Général de la Population et de l'Habitat (3ème RGPH) de 2005, cité dans Youana & Fomo (2009).

La Figure 8 montre la situation géographique des ménages consultés durant l'enquête EPESS. La taille de l'échantillon de l'EPESS prévue est de 1200 ménages. Le ménage considéré est le ménage ordinaire (par opposition aux ménages collectifs tels que les élèves en internat, les militaires en caserne, les malades de longue durée internés dans les hôpitaux, les religieux dans les couvents, les prisonniers, les enfants de la rue ou vivant dans des orphelinats, etc.) résidant sur le territoire national.

#### **3.1.2 Outils de collecte**

Deux questionnaires ont été utilisés pour collecter les informations: le questionnaire ménage riverain et le questionnaire individuel.

Le questionnaire ménage riverain a permis de collecter des informations sur les caractéristiques des membres du ménage et de l'habitat. Il est structuré autour de sept sections que sont: identification du ménage, composition et caractéristiques des membres du ménage, caractéristiques de l'habitat, approvisionnement en eau potable du ménage, environnement du ménage et assainissement, paludisme et anémie chez les enfants de moins de 5 ans, recours aux soins et dépenses de santé des membres du ménage. Il a été donné à remplir aux membres du ménage, en particulier au chef de ménage.

Pour le questionnaire individuel, il comporte deux sections: environnement, environnement du quartier. Ce questionnaire a été donné à remplir, dans un ménage retenu dans l'échantillon, à un membre âgé d'au moins 15 ans sélectionné au hasard.

#### **3.1.3 Collecte de données**

Les travaux relatifs à la collecte de données ont été précédés d'un ensemble d'activités à savoir:

- les travaux préparatoires;
- l'atelier de validation des documents techniques;
- la formation d'agents enquêteurs.

La collecte de données sur l'ensemble du territoire national s'est déroulée du 19 mai au 15 juin 2012. Elle a mobilisé sur le terrain, 10 agents enquêteurs, 4 contrôleurs et 4 superviseurs.

### **3.1.4 Saisie et exploitation des données**

La saisie et le traitement de données ont été effectués à l'aide de la version 4.0 du logiciel CPro (US Census Bureau 2013). Les agents présélectionnés pour la saisie ont suivi une formation de cinq jours pour se familiariser aux outils d'exploitation (questionnaires, masque de saisie) de l'EPESS. Pour réduire au maximum les erreurs de saisie, tous les questionnaires de l'EPESS ont fait l'objet d'une double saisie. Au total, la saisie a nécessité 1 superviseur, 2 contrôleurs et 5 agents temporaires de saisie.

## **3.2 Enquête qualitative: les Discussions de Groupes**

### **3.2.1 Sélection et construction des unités d'observation**

La population de l'étude est constituée ici de plusieurs catégories d'acteurs. Premièrement, la sélection et la construction des unités d'observations, c'est-à-dire des enquêtés, ont respecté la parité homme/femme. Deuxièmement, il a été tenu compte des différences d'âge. Ainsi, ont pris part à l'enquête, des jeunes garçons et filles âgés entre 15 et 30 ans et des adultes âgés entre 30 et 45 ans et plus. La prise en compte de tous ces paramètres avait pour ambition d'assurer une bonne représentation des différentes catégories sociales dans l'échantillon. Les participants aux discussions de groupes ou « focus group discussion ,(FGD) » étaient les membres des communautés de (« *Ngoa-Ekélé* », « *Carrière* », « *Mimboman* »).

### **3.2.2 Collecte et analyse des données: Une approche socio-anthropologique**

La recherche s'est voulue à dominance qualitative. Il s'est agi pour les chercheurs d'aller à la « *conquête du présent* » (Mafessoli 1979), en s'intéressant davantage aux discours, aux récits de vie, aux diverses opinions des acteurs rencontrés sur le terrain. C'est donc une étude basée sur des interviews à caractère socio-anthropologique. Celles-ci accordent la priorité aux constructions des acteurs.

L'étude est donc fondée sur une démarche qualitative utilisant les techniques d'entretien et de discussions de groupes ciblés. La stratégie de collecte des données était basée sur le principe d'une démarche participative, visant à donner la parole aux acteurs qui vivent le phénomène étudié, à impliquer au mieux les différentes catégories d'acteurs (chefs de quartiers, notables, populations locales, etc.) dans le processus de prise en compte de la question de l'accès à l'eau et celle de l'assainissement de l'environnement.

Cette approche à composante essentiellement qualitative, à l'inverse des enquêtes quantitatives, permet de saisir le vécu des acteurs sociaux, y compris ceux qui ne sont pas pris en compte dans les études quantitatives.

Ainsi, l'examen des opinions, des récits de vie et des perceptions issus d'entretiens de groupes réalisés, a permis une analyse fine. A travers un croisement rigoureux des informations données, l'on dispose ainsi des perceptions des acteurs interrogés de façon à faire ressortir les convergences, les noyaux durs et cohérents de leurs propos.

Deux étapes ont ponctué le traitement et l'analyse des données dans le cadre de cette recherche:

- la transcription des données socio-anthropologiques, des documents phonologiques aux documents écrits;
- le dépouillement des données.

### **3.3 Procédures d'échantillonnage des points - Water sampling procedures**

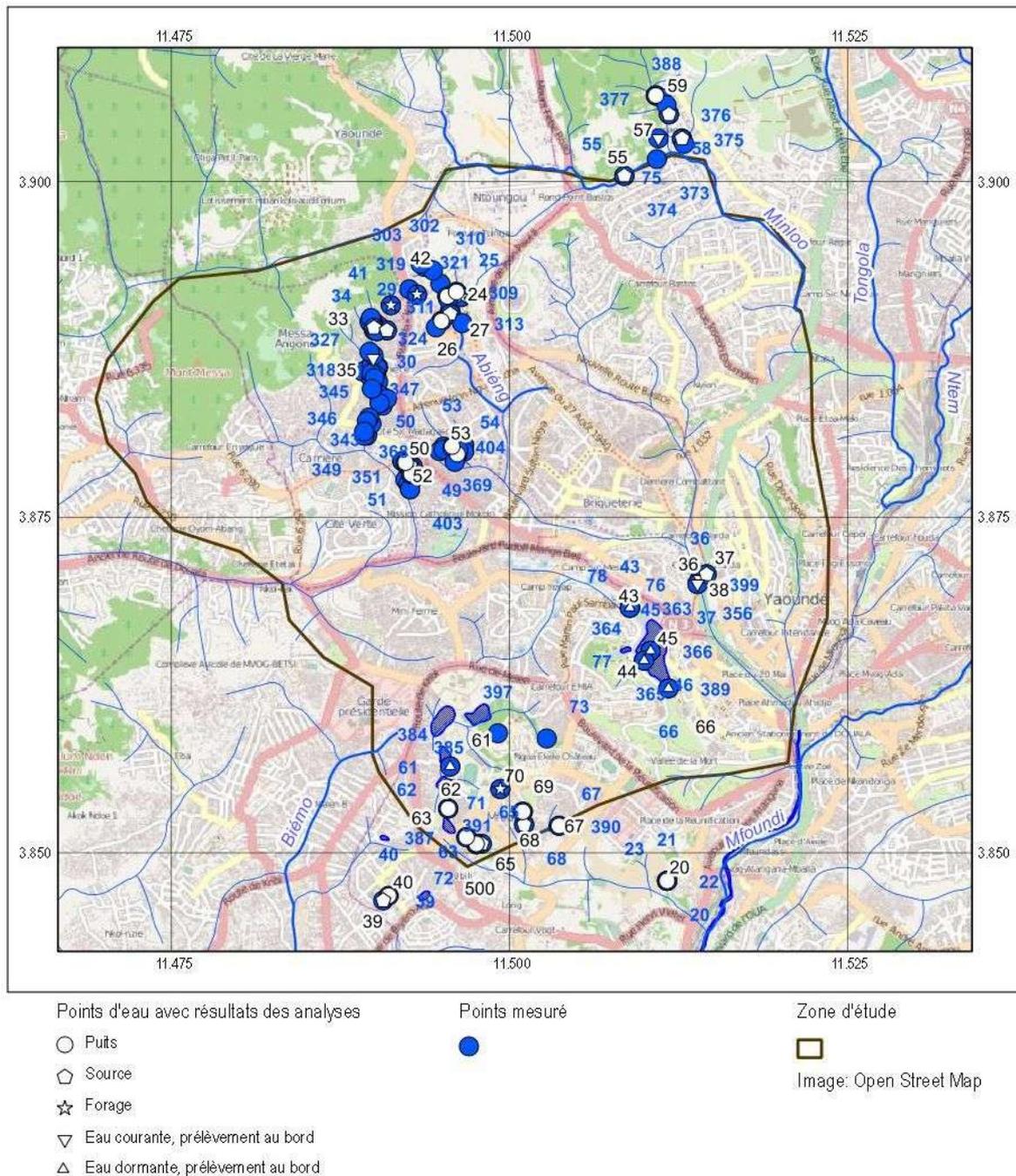
#### **3.3.1 Considérations générales- General considerations**

L'objectif de la campagne d'échantillonnage consistait à fixer un repère d'évaluation de la qualité de l'eau pour des études ultérieures, disponible aux utilisateurs de puits, forages et sources. Tous les échantillons d'eau ont été effectués selon des méthodes standard. Pour les analyses microbiologiques, des bouteilles d'échantillonnage d'une capacité de 0.5-1.0 l ont été utilisées. Les prélèvements ont été stockés à 4°C dans des glacières et livrés au laboratoire dans les 8 heures suivantes.

#### **3.3.2 Procédures d'échantillonnage des eaux souterraines - Groundwater sampling**

L'objectif de la campagne d'échantillonnage consistait à comprendre la qualité des eaux souterraines en saison sèche et de mettre cette connaissance à disposition des utilisateurs des puits, forages et sources **a)** d'un point de vue microbiologique pour prévenir les risques immédiats sur la santé, et **b)** d'un point de vue hydrogéochimique pour prévenir à la fois le risque provoqué par des contaminants inorganiques, mais aussi pour donner un aperçu de la série de paramètres à trouver dans les différentes zones urbaines. Ces zones ont été choisies pour représenter différents contextes hydrologiques et hydrogéologiques existant dans la ville.

L'échantillonnage a été réalisé par 2 équipes de terrain. Afin d'identifier des points d'eau adaptés au prélèvement d'eaux souterraines, d'obtenir un grand nombre de mesures représentatives, d'obtenir la permission d'accéder aux terrains privés et d'informer la population locale, une cartographie de reconnaissance a été réalisée. Celle-ci situe le point d'eau avec une courte description de sa construction, son niveau d'entretien et le mode d'utilisation de l'eau, les coordonnées GPS, les mesures du pH, la conductivité électrique (CE) et la température.



**Figure 9:** Distribution spatiale des points d'eau visités durant la reconnaissance cartographique (petits symboles bleus) et finalement retenus pour l'échantillonnage (symboles chiffrés) - *Spatial distribution of water points visited during reconnaissance mapping (small blue symbols) and finally chosen for sampling (numbered symbols).*

Les points d'eau visités lors de la reconnaissance cartographique (petits symboles) et ceux finalement choisis pour l'échantillonnage (symboles avec les numéros des stations) sont représentés Figure 9.

Les méthodes employées pour l'échantillonnage des eaux de la nappe phréatique ont dû respecter l'objectif primaire de l'analyse microbiologique et les problèmes d'hygiène qui lui sont relatifs aux points d'eau disponibles à la population. Ainsi, en évitant toute

contamination humaine de la part de l'équipe de terrain, des échantillons ont été prélevés aux points d'eau (Figure 10), en utilisant l'équipement généralement présent sur place et en observant les procédures d'échantillonnage microbiennes standard (ISO 5667-11 (2009)).



**Figure 10:** (A gauche) Au point d'eau, l'échantillon microbiologique était d'abord prélevé en utilisant l'équipement local disponible (Olezoa). A droite, utilisation d'une pipette pour déverser un échantillon d'eau prélevée dans une fiole à Ngoa-Ekellé - *(left) After reaching the waterpoint, the microbiological sample was always taken first, making use of the local equipment present (Olezoa); (right) Pipetting a TIC/TOC-subsample into a glass vial at Ngoa-Ekellé.*

Les échantillons ont été prélevés d'un volume<sup>4</sup> d'eau stagnante dans un puits (exemple Figure 11). Au regard des résultats analytiques, cela a des conséquences sur **a)** l'échange eau-gaz (par ex. oxygène, dioxyde de carbone, pH), **b)** une concentration généralement plus faible de métaux dissous sensibles à l'oxydo-réduction (par ex. fer et manganèse) que l'on y trouvera à cause de l'oxydation et de la précipitation à la surface du puits, **c)** les puits à diamètre large ont une plus grande probabilité d'être contaminés par des organismes qui se développent et vivent sur les parois (couche d'algues, de plantes, d'insectes, d'escargots des prés), ce qui peut avoir une influence sur des paramètres microbiologiques comme les Coliformes Totaux.

---

<sup>4</sup> Generally  $\geq 0.3 \text{ m}^3$  volume in typical dug wells in Yaoundé



**Figure 11:** A gauche, un puits dans un état d'entretien favorisant un biotope, comparé (à droite) à un puits mieux entretenu normalement protégé de la lumière - *(left) Dug well (puits) in the maintenance state of a biotope compared (right) to a better kept dug well normally protected from light.*

Les procédures de purge de puits sont généralement requises pour échantillonner correctement et de manière représentative. Ces procédures, détaillées dans le chapitre suivant, ont été mises en application au niveau de deux puits. Les échantillons d'eaux souterraines provenant de forages ont été prélevés directement du ruisseau après quelques minutes de pompage, là où cela a été possible. Dans deux cas, l'eau a dans un premier temps été pompée, puis stockée dans un réservoir. Ce volume étant essentiellement de l'eau stagnante, les conséquences sont similaires quant aux échanges eau/gaz, oxydation des métaux et contamination possible par l'ammonium (comme indiqué précédemment). Cela devra être pris en compte dans la discussion de certains résultats.

Des échantillons d'eaux souterraines ont été prélevés dans des sources, aussi proche que possible de l'endroit d'où elles sortent de terre afin de minimiser les échanges gaz/eau (Figure 13). Ils ont été réalisés sans aucun contact avec la surface et dans un récipient d'échantillonnage propre et conditionné<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> Two times pre-rinsed with sample

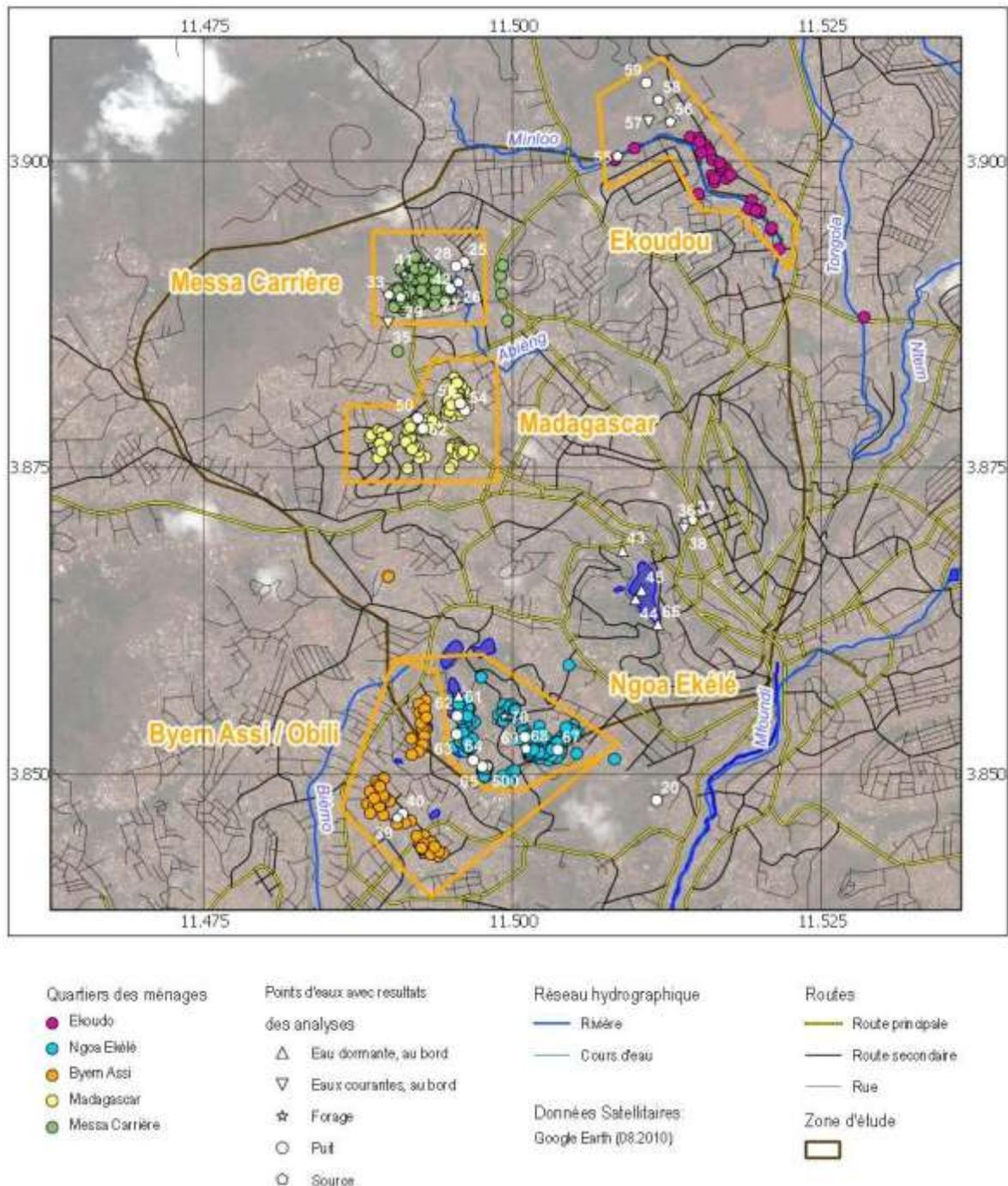


**Figure 12:** (à gauche) Un jeu de bouteilles utilisées pour les analyses microbiologiques, chimiques minérales et chimiques organiques ; (à droite) Jeu de bouteilles pleines après échantillonnage d'un puits privé équipé d'une pompe submersible (forage) - *(left) Bottle-set used for microbiological, inorganic chemical and organic chemical analysis; (right) Full bottle-set after sampling a private well equipped with a submersible pump (forage).*

Un jeu de bouteilles (Figure 12) a été utilisé durant la totalité de l'étude pour traiter toutes les exigences analytiques et le volume nécessaire à la réalisation d'analyses parallèles des paramètres sélectionnés. L'échantillon-mère pour les analyses de métaux traces dissous (par exemple fer, manganèse et aluminium, phosphore, silice) a été filtré sur place dans un conteneur en polyéthylène propre, préparé avec 1°ml d'acide nitrique ( $\text{HNO}_3$  cc sp) de qualité analytique ultrapure (Figure 13).



**Figure 13:** (à gauche) Filtration et stabilisation d'un échantillon-mère au point d'eau pour préserver les concentrations en éléments traces dissous, (à droite) échantillonnage d'une source améliorée dans les bas-fonds de Messa-Carrière à Oliga - *(left) Filtration and stabilization of a subsample at the water point to preserve dissolved trace element concentrations; (right) sampling an improved spring below Messa-Carrière at Oliga.*



**Figure 14:** Localisation des sites d'échantillonnage avec les ménages de l'enquête qui leur sont attribués dans la zone d'étude. Ces cinq groupes de sites d'étude servent à mettre en évidence les différentes conditions d'hydrologie et d'utilisation des terres - *Location of sampling sites with the attributed households of the survey in the study area. These five spatial clusters serve to outline different conditions of hydrology and landuse.*

A partir des travaux cartographiques, l'échantillonnage d'eaux souterraines a été réalisé dans les cinq groupes de sites d'étude « spatial cluster » sélectionnés (figure 14) à savoir :

- **Ekoudou**, quartier proche de la zone de ressource en eau souterraine, où l'occupation urbaine demeure faible et où un caractère rurale est préservé. Il était

néanmoins très faiblement peuplé en 1962 (Franqueville 1968 et s'est développé entre 1974 et 1992 (Tchindjang et al. 2009). La proximité spatiale entre les points d'eau (le long d'un affluent Nord de Minloo) et les ménages enquêtés (plus en aval sur la rive Est) n'est pas idéale, bien qu'une bonne appréciation de la qualité de l'eau de surface soit possible.

- **Messa-Carrière** à Messa-Carrière/Oliga, sur la pente Sud-Est de la colline de Messa (>1000 m d'altitude) (Messa I, Nkom-Kana), qui fait face au Palais de Congrès du côté est. Le quartier s'est développé de manière anarchique entre 1974 et 1992 (Tchindjang et al. 2009). Ce groupe de sites d'étude a été choisi pour **a)** représenter les puits et les sources sur le substratum fracturé dans un terrain en élévation **b)** avoir une limite visible des espaces inoccupés à ceux occupés et **c)** si possible voir les différences de qualité entre les zones d'approvisionnement en eaux souterraines et les zones où elles sont évacuées. Le groupe de sites d'étude est limitrophe de la bordure Ouest du bassin versant du Mfoundi. Les sources de Messa-Carrière déversent leurs eaux dans la rivière Abiegue, affluent de la Mefou.
- **Madagascar**, une occupation dense et anarchique avec diverses activités économiques incluant des ateliers et boutiques est observée à l'est de la Rue Nana Tchakounté. En 1962, c'était la zone ayant la plus grande densité de population dans toute la ville de Yaoundé (Franqueville 1968). Les eaux souterraines étaient proches de la surface pendant la saison sèche de l'année 2012. L'ancienne appellation locale « Sources » citée par Franqueville (1968) indique aussi les nombreuses sources naturelles dans cette zone. Le cours de la Rue Nana Tchakounté pourrait représenter la ligne de partage des eaux souterraines qui sépare le bassin versant du Mfoundi et le bassin versant d'Abiegue/Mefou à l'Ouest, où l'on rencontre également une occupation dense et désordonnée. Les logements planifiés de la Cité-Verte appartiennent aussi au groupe de sites d'étude de Madagascar. Ceci doit être pris en compte lors des interprétations des résultats de l'enquête pour le groupe de sites d'étude de Madagascar ci-après.
- **Ngoa-Ekélé**, à l'Ouest et au Sud de l'Université de Yaoundé I a été choisi pour représenter l'approvisionnement en eaux souterraine sur une colline hydrologiquement isolée au sein de la ville de Yaoundé. En 1962, le « Plateau Atemegue » était faiblement occupé (Franqueville 1968). Le développement du quartier s'est intensifié avec la construction de l'Université de Yaoundé I. De nos jours, l'occupation est très dense et le pourcentage de surfaces imperméables dépasse les 90% dans les quartiers étudiants d'après les données cartographiques des logiciels libres. La colline de l'Université de Yaoundé I est située au centre du bassin versant d'Olezoa qui déverse ses eaux directement dans le Mfoundi en aval du centre ville.
- **Biyem-Assi**, a été choisi pour représenter l'aspect des eaux souterraines dans un environnement organisé de la ville de Yaoundé, non loin de Ngoa-Ekélé et dans

un environnement hydrologique similaire. Ses eaux de surface se déversent vers le sud-ouest dans la Biyeme, un affluent de la Mefou.

Pour éviter toute confusion, les cinq groupes de sites d'étude définis ci-dessus ne sont pas identiques aux unités administratives de la ville de Yaoundé qui portent les mêmes noms.

**Tableau 1:** Échantillon-type et type de point d'eau avec les numéros des échantillons prélevés - *Sample-type and type of waterpoint with numbers of samples taken.*

Type	Groundwater	Surface water	Total
Eau courante / Water course	-	5	<b>5</b>
Forage / Deep well	4	-	<b>4</b>
Eau stagnante /Stagnant water	-	6	<b>6</b>
Puits / Dug well	21	-	<b>21</b>
Sources / Spring	14	-	<b>14</b>
Total	<b>39</b>	<b>11</b>	<b>52</b>

Source : INS/EPESS 2012

Les types d'échantillons analysés sont listés dans le Tableau 1. Une bouteille de 0.5 l de deux fournisseurs d'eaux minérales camerounaises connues complète les échantillons pour les analyses minérales (inorganiques).

### 3.3.3 Echantillonnage des points d'eau de surface - *surface water sampling*

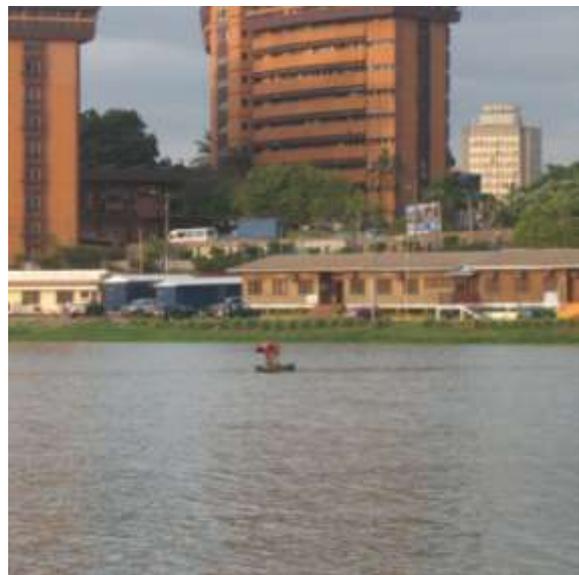
Les échantillons d'eaux de surface ont été réalisés afin de mettre en valeur la différence avec des eaux souterraines sous les mêmes conditions hydrologiques (saison sèche très longue). De plus, le lac municipal est un centre d'intérêt public et un bon exemple pour le développement d'un grand plan d'eau stagnante de surface qui reçoit une quantité importante de nutriments sous forme d'eaux usées mais éventuellement aussi d'eaux souterraines contaminées. Pour cela, 11 échantillons d'eaux de surface ont été réalisés (Tableau 1). Les ruisseaux et la rivière Mfoundi ont été échantillonnés dans des zones densément urbanisées du littoral (Figure 15).





**Figure 15:** (en haut à gauche) Mesure de conductivité hydraulique et du pH en aval du pont de Mfoundi ; (en bas à gauche) échantillonnage du Mfoundi dans le bois St. Anastasie ; (à droite) échantillonnage en aval de la zone de la source Apollo avec la décharge sauvage (Messa-Carrière) - (left above) Measuring EC and pH downstream the Mfoundi bridge, (left below) Sampling the Mfoundi in Bois St. Anastasie; (right) Sampling downstream Apollo spring area with wild waste discharge (Messa-Carrière).

L'eau de surface du lac municipal a été échantillonnée à l'embouchure Nord, à l'exutoire Sud, de même que sur le rivage Ouest (ponton en béton). Deux échantillons d'eau du lac, l'un à la surface (0 m) et l'autre à 3 m de profondeur, ont été prélevés par un pêcheur local, à l'aide d'une écope et d'un GPS, au point le plus profond du lac (Figure 16). Un prélèvement d'un étang à poisson a également été réalisé.



**Figure 16:** (à gauche) échantillon des berges du lac municipal abondantes en plantes (*Eichhornia crassipes*) ; (à droite) pêcheur prélevant de l'eau de surface (0 m) et de l'eau profonde (3 m) sur le lac municipal, à l'aide d'une écope - (left) Shore sample of Municipal Lake covered with abundant plants (*Eichhornia crassipes*) (right); Fisherman taking water sample at surface (0 m) and from a depth of 3 m of Municipal Lake with a bailer.

### 3.4 Analytical methods

#### 3.4.1 Champ méthodologique - *Field methods*

Prior to each field day probes with electrodes where calibrated using technical buffer solutions (pH, EC) in the laboratory, calibrated against watersaturated air (DO) or checked for response with a redox buffer (ORP). Electrodes where maintained according to standard laboratory practice and manuals. Sample bottles where prepared in the laboratory.

#### 3.4.2 Méthodes microbiologiques - *Microbiological methods*

Microbiological analysis covered bacterial and viral indicator, as well as specific pathogens. Analysis for *E. coli*, faecal and total coliforms and faecal streptococci were used to indicate water contamination by faecal material. Coliphages served as an indicator for viruses excreted via faecal material.



**Figure 17:** (à gauche) Test IDEXX Colilert 18. Les cases jaunes indiquent la croissance d'*E. coli* et des coliformes totaux ; (à droite) 3M™ Petrifilm™ *E. coli* / Coliform Count (EC) Plate™ sur la moitié gauche de l'image et Aqua AQEB Plate™ sur la moitié droite de l'image, pour la détection des entérobactéries dans l'eau – (left) IDEXX Colilert 18 test. Yellow wells indicate growth of *E. coli* and total coliforms (left) ;(right. 3M™ Petrifilm™ *E. coli* / Coliform Count (EC) Plate™ (middle) and Aqua AQEB Plate™ (right) for detection of enterobacteriaceae in water.

Specific water-related pathogens were analysed by the Pasteur-Institute to complete the analysis spectrum. The complete description of methods is contained in annexe 5.2.

#### 3.4.3 Chimie inorganique de l'eau - *Inorganic water chemistry*

Analytical chemical results are generally given as concentrations in mg/l or for trace elements in µg/l. They are given for dissolved elements (e.g. Calcium (Ca), Chloride (Cl), ...), compounds or molecules (e.g. SiO<sub>2</sub> or nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)) and elements in so called sum-parameters (e.g. TIC/TOC). Summary id given for the analytical methods employed in the study. The complete description of methods is contained in annexe 5.2.

**Tableau 2:** Liste des paramètres analytiques utilisés dans l'EPESS - *List of analytical parameters used in the EPESS-study.*

Parameter	Acronym	Method
pH	pH	Voltametry
Temperature	T	Resistance
DO	DO	Amperometry
ORP	ORP	Voltametry
EC	EC	Resistance
Cations	<b>Ca</b>	<b>ICP-OES</b>
	<b>Mg</b>	<b>ICP-OES</b>
	<b>Na</b>	<b>ICP-OES</b>
	<b>K</b>	<b>ICP-OES</b>
	<b>Fe</b>	<b>ICP-OES</b>
	<b>Mn</b>	<b>ICP-OES</b>
	<b>Al</b>	<b>ICP-OES</b>
Anions	<b>SO42-</b>	<b>IC</b>
	<b>Cl-</b>	<b>IC</b>
	<b>F-</b>	<b>IC</b>
	<b>Br-</b>	<b>IC</b>
Nutrients	<b>SiO2</b>	<b>ICP-OES</b>
	<b>o-PO43-</b>	<b>ICP-OES</b>
	<b>NH4+</b>	<b>Photometry</b>
	<b>NO3-</b>	<b>IC</b>
	<b>NO2-</b>	<b>IC</b>
Elements trace / Trace elements	<b>Pb, Ni, Zn, Sr</b>	<b>ICP-OES</b>
Isotopes stable / Stable Isotopes	<b>δ18O, δ2H</b>	<b>Laser-Att.</b>
Alcalinité / Alkalinity	<b>ALK (HCO3-)</b>	<b>Volumetry</b>

Source : INS/EPESS 2012

### **3.5 Base de données et Système d'Information Géographique (SIG)**

Les fondements du projet sont basés sur les différentes manières de présenter les résultats sous forme des données thématiques et spatiales. L'un des objectifs essentiels de cette étude est l'assemblage des données produites dans une base de données et dans un système d'information géographique (SIG), pour sa mise à la disposition des partenaires et potentiels intéressés. La mise en œuvre d'un SIG rend possible la combinaison dans un même espace, toutes les données thématiques ainsi que des différents thèmes de l'enquête. L'élaboration de la base de données géographiques est faite ici à partir des résultats de l'enquête statistique réalisée auprès des ménages riverains et de ceux des analyses des paramètres hydro chimiques et microbiologiques, Elle permet la bonne gestion des informations et des cartes topographiques dont le contenu est disponible sous différents formats de données géo référencées.

Le SIG est ensuite migré dans un emplacement en tant que client sur un réseau de base de données géographiques, qui sont analysées, organisées distribuées pour répondre aux demandes sélectives. L'acquisition et l'utilisation du logiciel libre dans cette étude pilote a permis ainsi d'éviter les coûts inhérents et donné la possibilité d'échange facile de données entre les partenaires du projet et d'autres institutions.

### **3.5.1 Logiciel libre**

Le logiciel libre (en anglais: Open Source Software (OSS)) quelconque peut être copié, utilisé et divulgué ([www.fsf.org](http://www.fsf.org)). Il ne fait l'objet d'aucune restriction en ce qui concerne le nombre d'utilisateurs et d'installations, ni d'aucune obligation de paiement de sa licence ainsi que des téléchargements de son contenu. Il s'agit donc d'un logiciel dont l'usage peut être fait en toute liberté. Etant donné que la source code du programme du logiciel libre est totalement accessible, il est possible de procéder à la poursuite d'un développement global du programme après un examen approfondi de sa fonctionnalité et finalement sa mise à disposition.

### **3.5.2 Environnement du matériel et du logiciel**

Le serveur de base de données SQL - PostgreSQL (version 9.1.x) (PostgreSQL Global Development Group 2012) a été utilisé pour l'élaboration de cette base de données géographiques. PostgreSQL conserve le lien avec la bibliothèque de données géographiques PostGIS (version 1.5.x) (PostGIS, Group of Contributors Steering Committee 2013) pour la prise en charge géographique des données vectorielles. Quantum GIS (QGIS) (Version 1.8.x "Lisboa") (Quantum GIS Development Team 2013) est utilisé et les données y afférentes se rapportent à la banque de données géographiques de PostgreSQL/PostGIS. De plus, le QGIS permet l'accès aux données Raster (Satellite, photos aériennes et cartes scannées), qui sont alors enregistrées dans le système de données. Avec la direction des versions PostGIS (Version 2.x) ces données Raster doivent aussi pouvoir être classées dans la base de données géographiques.

L'installation de différents matériels, système de sécurité défaillant et système architectural exige différents binaires du logiciel OSS qui présentement, est illimité sur tous les trois systèmes architecturaux mis à disposition ((Microsoft Windows >= XP, Linux/Unix und MacOSX) [www.qgis.org](http://www.qgis.org), [www.postgresql.org](http://www.postgresql.org) et [www.postgis.org](http://www.postgis.org). Sur le serveur à la BGR, est actuellement disponible la version virtuelle de Windows 8 (64bit) du PostgreSQL/PostGIS pour la gestion de la base de données géographiques (32 bits). Des installations locales ont été faites à Yaoundé (serveur de banque de données, banque de données client et comme client le poste fixe GIS) sur Windows, en préparation à la mise à disposition dans le réseau d'un serveur Linux et plusieurs postes fixes clients.

### **3.5.3 Serveur Virtuel**

Le serveur virtuel est un système multi-utilisateurs, qui pourrait être assimilé à un fonctionnement "ordinateur dans l'ordinateur". Cela signifie que son système global de

réseau de données est enregistré en une gressedonnée (>>10 Gb) dans ce qu'on pourrait appeler un disque dur virtuel, pendant que le logiciel d'utilisation pourrait être classé à côté des données sur le serveur virtuel. Ceci a l'avantage qu'un système d'information géographique est transférable avec le logiciel nécessaire sur le serveur d'une base de données. Cela permet également l'installation rapide ou la restauration d'un environnement complexe de travail préconfiguré. La technique de visualisation de nos jours s'effectue en centres de calcul aux équipements modernes "à la pointe de la technologie". Mais elle est également disponible pour de plus faibles architectures d'ordinateurs comme le OSS. Elle est aussi un gros avantage pour les ordinateurs commerciaux (PC et ordinateur portable) moyennement à très puissants, grâce à la possibilité de clonage et à la préconfiguration de l'environnement de travail.

### **3.5.4 Base de données**

Le serveur de base de données PostgreSQL est utilisé et géré à travers l'outil client pgAdmin3 et le SQL-Standard faciles d'utilisation. Dans la version actuelle, il existe des outils d'importation pour le format "Shapefiles" et les tableaux. Le SIG exige comme client les données géographiques de la base de données géographiques. A côté des accès lisibles, il existe aussi des accès écrits. La sécurité des données est garantie à travers un concept de droit hiérarchique; les données sont intégrées dans le Quantum GIS comme des couches de PostGIS. Les modifications sur la base de données géographiques (exemple : correction les valeurs de mesure comme les coordonnées) sont restituées de façon dynamique aux clients.

L'usage de la base de données géographique permet d'échanger très facilement entre différentes positions, des architectures de systèmes ainsi qu'entre versions de logiciel, des stocks complexes et volumineux de données géographiques. Le niveau d'échange est en quelque sorte une "Banque de données-Dump" dans le format SQL qui peut être également lu à l'aide d'un éditeur. Ce Dump est transmis à travers l'internet et copié dans une banque de données vides située sur le serveur de destination à l'aide d'outils du serveur.

### **3.5.5 Contenu de la banque de données**

La banque de données contient trois types de données : les analyses hydrogéologiques et microbiologiques (48 échantillons analysées avec 172 Paramètres), les données statistiques (1130 ménages, 4396 personnes dont 500 enfants de moins de 5 ans) ainsi que les données topographiques de l'Institut National de Cartographie (INS) de Cameroon. Les données topographiques contiennent les cours d'eau, les routes, les lieux, les limites et objets isolés.

Toutes les données sont disposées dans la banque de données géographiques chacune sous forme de tableau. Comme fondement topographique, sont classées à côté de ce qu'on appelle données vectorielles, quelques données Raster (SRTM, Google Earth und OpenStreetMap-Layer (OpenStreetMap contributors 2013). Jusqu'à present, ces couches

Raster ont été enregistrées en dehors de la banque de données. Cependant, elles doivent être intégrées dans la banque de données à partir de la version PostGIS 2.x.

### **3.5.6 Système d'Information Géographique – Quantum GIS**

Les couches PostGIS de la banque de données sont prises en charge dans le SIG à l'aide des commandes SQL. Cela signifie que la liaison entre la banque de données et le SIG reste constante dans le Quantum GIS après le démarrage de la couche ; et les changements de la couche GIS dans la banque de données sont pris en charge de façon automatique dans le SIG. Des Templates ont été utilisés et générés respectivement pour l'harmonisation des maquettes et pour la symbolisation du style. Les cartes thématiques qui sont présentées en annexe dans le rapport montrent la zone d'étude et ont été produites en format DIN A3 à une échelle de 1/30 000. Les parties détaillées de la zone d'étude se présentent à l'échelle 1/10 000.

À l'aide de Quantum GIS, l'utilisateur est désormais en mesure de formuler des recherches thématiques et de les représenter spatialement. Les différents contenus de la banque de données peuvent être combinés entre eux, sélectionnés et représentés à travers une classification spécifique à la recherche et des méthodes de représentation cartographiques relatives à la question. C'est ainsi que vont être mis en évidence pour des questions bien précises, des contextes spatiaux ou des modèles de répartition dans les quartiers de la ville, qui ne seraient pas visibles avec les données statistiques ou hydrogéologiques sous forme de chiffres sans représentation graphique.

Pour toutes les cartes, les coordonnées géographiques ont été utilisées en projection WGS84 (EPSG No. 4326).

## **4 Etat microbiologique et hydrochimique des eaux souterraines et de surface à la fin de la saison sèche en 2012 - Microbiological and hydrochemical status of shallow groundwater and surface water at the end of dry season 2012**

L'étude a été réalisée à la fin de la saison sèche entre le 28 mars et le 17 avril 2012. Aucune précipitation n'ont été observées dans la zone d'étude ni plusieurs semaines avant le début de la campagne de mesures, ni durant. 39 échantillons ont été réalisés pour analyse de la qualité des eaux souterraines (Tableau 1).

### **4.1 Microbiologie - Microbiology**

#### **4.1.1 *Escherichia coli* et Coliformes Totaux - *Escherichia coli* and Total Coliformes**

*Escherichia coli* (*E. coli*) est une bactérie communément présente dans l'intestin humain. Parce que cette bactérie est présente dans les matières fécales, est facile à détecter et n'est normalement pas pathogène, elle a été choisie par Robert Koch il y a plus de 100 ans comme indicateur de la potabilité microbienne de l'eau. La présence d'*E. coli* dans l'eau montre une contamination récente de cette eau par des matières fécales. C'est la raison pour laquelle *E. coli* est aussi appelé un indicateur fécal. Ces matières fécales détectées dans l'eau peuvent être d'origine humaine mais peuvent également provenir d'autres animaux à sang chaud, comme les mammifères et les oiseaux. Si l'*E. coli* est détectée, l'eau est impropre à la consommation car d'autres micro-organismes pathogènes peuvent également y être présents.

Concernant les échantillons d'eau de surface, les résultats montrent une contamination élevée des échantillons au indicateur fécaux. En général dans les cours d'eau (moyenne >100 000 cfu/100°ml), la contamination est plus élevée que dans l'eau de lac (moyenne 27 390 cfu/100°ml) : Comme le cours d'eau reçoit des eaux usées de provenances diverses, les concentrations de contamination fécale dans certains échantillons atteint même les valeurs des concentrations détectées dans une eau usée non diluée. Dans le lac, la contamination fécale est légèrement plus faible: les rayons ultra-violet (UV) tuent les bactéries dans la couche supérieure de l'eau et le pH atteint des valeurs autour de 9, ce qui crée un environnement peu favorable au développement des microorganismes. Les planctons zoo- et mixotrophiques agissent comme des prédateurs et réduisent la quantité de bactéries en s'en nourrissant. Une extinction naturelle se produit lorsque le lac constitue un environnement non naturel pour les bactéries fécales et qu'elles ne se trouvent pas adaptées à cet habitat.

Dans les eaux souterraines, les concentrations d'*E. coli* se sont révélées être plus faibles qu'à la surface. La plus forte concentration (maximum et moyenne) a été détectée dans l'eau prélevée dans les sources. L'eau des puits était moins contaminée et 18.75% des échantillons d'eau (3/16) ne présentaient pas de trace de contamination fécale. Une valeur médiane de 23 cfu/100°ml a été détectée, ce qui d'après l'OMS (2004), équivaut à un risque intermédiaire. L'eau des sources présentait en moyenne une contamination plus

importante (70 cfu/100°ml) que celle des puits (23 cfu/100°ml) et présente un risque plus important, selon L'OMS (2004). Néanmoins, 18% des échantillons de source (2/11) ne présentaient pas de trace d'*E. coli*, résultat proche de celui obtenu pour les échantillons des puits.

Enfin, les puits profonds fournissant de l'eau souterraine comportaient le moins de traces de contamination à l'*E. coli*. Seul un échantillon prélevé d'un conteneur de stockage a montré une contamination avec 3 cfu/100°ml. Tous les autres échantillons ne comportaient pas d'*E. coli*. C'est la raison pour laquelle les eaux souterraines provenant de ces puits profonds peuvent être considérés comme microbiologiquement saines, mais il existe un risque de contamination durant le stockage.

Les coliformes totaux sont un groupe d'Entérobactériacées qui présente des réactions physiologiques similaires à l'*E. coli*, qui fait également partie de ce groupe. Celui-ci compte par exemple également *Klebsiella*, *Serratia*, entérobactérie. Les coliformes vivent dans les intestins des mammifères, oiseaux, reptiles et insectes, mais on les trouve également dans la nature, sur les feuilles et dans le sol, où ils digèrent la matière organique. Généralement, les concentrations de coliformes totaux sont 10 fois supérieures à celles d'*E. coli*. C'est ce que l'on a pu observer dans les échantillons analysés dans cette étude.

La plus importante concentration de coliformes totaux dans l'échantillon d'un puits profond a été détectée dans le prélèvement d'un conteneur de stockage (>200 cfu/100°ml). Il s'agissait d'un conteneur en plastique avec un couvercle à vis censé rester fermé. La contamination de tels conteneurs provient souvent du fait que ce couvercle reste ouvert, ce que l'étude a également démontré. Dans l'eau des puits et des sources, on trouve toujours des coliformes puisque ces sources d'eau sont en contact avec l'environnement<sup>6</sup> naturel. En ce qui concerne l'*E. coli*, les concentrations en coliformes totaux sont plus importantes aux sources qu'aux puits, mais la différence entre les provenances de ces eaux est mineure lorsque l'on considère les concentrations de coliforme total. Dans ces eaux aux origines différentes, on a observé des concentrations moyennes de coliforme total >200 cfu/100°ml et une concentration minimum de 1 cfu/100°ml. Seule la valeur maximum >10 000 cfu/100°ml relevée dans un prélèvement d'eau de source est supérieure à la valeur maximum de 5 790 cfu/100°ml mesurée dans les puits. Parce que les microorganismes ne sont jamais répartis de manière uniforme dans les prélèvements microbiologiques, mais forment plutôt des amas, sont mobiles et se déplacent, l'amplitude des concentrations en organismes trouvés dans ces échantillons se situe dans une graduation log<sub>10</sub>. Plus clairement, les résultats de prélèvements qui s'échelonnent de 1 000 à 10 000 cfu/100°ml sont dans la même catégorie de détection. C'est pour cela que les résultats pour les coliformes totaux détectés dans les puits et les sources peuvent être considérés comme étant quasiment égaux.

---

<sup>6</sup> Plants growing in the wall of wells, insects falling in.

**Tableau 3:** Distribution d'*E. coli* et de coliformes totaux dans les prélèvements - *Summary of E. coli and Total coliforms in water samples.*

		<i>E. coli</i>			Total coliforms		Risk
		N	Range (cfu/100°ml)	Median	Range (cfu/100°ml)	Median	
<b>Surface water</b>	Water course	5	>200 - >100 000	>100000	>200 - >100000	>100000	Very high
	Lake water	4	113 - >100000	27390	>2400 - >100000	51760	Very high
<b>Groundwater</b>	Deep well	5 (4)	0-312	0	0 - >200	036 9	Low
	Dug well	16(21)	0 - >200	23	1 – 5790	>200	Medium
	Spring	14 (121)	0 - >10000	70	1 - >10000	>200	High

Source : INS/EPESS 2012

Carte thématique 5: Unités de colonies formantes d'*E. coli* aux points d'eau et Carte thématique 6: Unités de colonies formantes de coliformes aux points d'eau en annexe.

Une étude méthodologique pour comparer une méthode performante et innovante d'analyse d'*E. coli* et de coliformes totaux en utilisant les essais Petrifilm a été réalisée. Ceux-ci ont été testés et évalués au labo WWRU à l'Université de Yaoundé I durant cette étude, dont les résultats sont reportés en annexe 3.1.2.

#### 4.1.2 Autres indicateurs bactériologiques et pathogènes - Other bacteriological indicators and pathogens

*Vibrio cholerae* (vibron cholérique dit « bacille virgule »), *Shigella* et organismes anaérobies réducteurs de sulfite n'ont été détectés dans aucun des prélèvements parallèles analysés par l'Institut Pasteur. Le fait que le vibron cholérique et la bactérie *Shigella* n'aient pas été détectés est plutôt positif, puisque cela montre qu'il n'existe pas de contamination continue par ces pathogènes venant des divers apports d'eau. Néanmoins, l'étude réalisée sur les ménages révèle que la bactérie *Shigella* peut y être présente occasionnellement parce que certaines personnes interrogées ont rapporté avoir été victimes de dysenterie ces 14 derniers jours (ref. to Tableau 57 and to Tableau 59) avec les amibes, *Shigella* est la bactérie à l'origine de la dysenterie. Les organismes anaérobies réducteurs de sulfite n'ont pu être détectés dans aucun des échantillons par l'Institut Pasteur. C'est d'autant plus surprenant que ces organismes anaérobies se trouvent typiquement dans les sols et les sédiments, où leurs spores peuvent survivre des années. Dans la réglementation sur l'eau potable en Union Européenne (2006|118|EC, European Parliament, Council), les organismes anaérobies réducteurs de sulfite servent d'indicateur. Les eaux doivent être testées à ces organismes anaérobies si elles entrent en contact avec des eaux superficielles. Dans notre étude, on s'attendait à tester positif aux organismes anaérobies les échantillons d'eau de surface, parce que la rivière recueille des eaux usées de provenances diverses. Il n'a été trouvé aucune explication tangible à la non détection de ces organismes anaérobies réducteurs de sulfite.

Un échantillon présente des traces de salmonelles. Cet échantillon a été prélevé dans un réservoir de stockage contenant de l'eau souterraine provenant d'un puits profond. Ce puits, situé à la carrière de Messa, est approvisionné par l'aquifère rocheux fracturé. Dans le même échantillon, on a également détecté la présence d'*E. coli*, de coliforme fécal et de coliformes totaux. Le réservoir de stockage est en plastique avec un couvercle sur le dessus. Pour extraire de l'eau du réservoir, il faut ôter le couvercle et l'eau peut ensuite être pompée du réservoir ou prélevée manuellement. D'après les résultats et les observations, tout porte à croire que le réservoir de stockage a été fraîchement contaminé. On trouve les salmonelles dans les intestins des mammifères, des oiseaux et des reptiles, par conséquent, les causes possibles de contamination sont nombreuses. Comme le couvercle n'est pas toujours fermé et que l'eau peut être prélevée du réservoir manuellement, il existe un risque de contamination de l'eau par la main de la personne qui l'en extrait. Les matières fécales d'un oiseau ou d'un reptile (lézard) peuvent contaminer le réservoir, si son couvercle l'en est ôté. Les lézards pénètrent parfois même dans le réservoir par le couvercle, s'il est mal fermé, afin d'échapper aux rayons du soleil et de trouver refuge dans un endroit plus frais.

Aucun entérocoque n'a été détecté ni dans 100 ml de ce prélèvement, ni dans aucun des prélèvements de forages. En général, les entérocoques sont plus résistants que l'*E. coli* et indiquent une contamination fécale, même en l'absence d'*E. coli*. Comme les concentrations en entérocoques sont généralement 10 fois inférieures aux concentrations en *E. coli* dans le même échantillon, cela explique pourquoi *E. coli* est parfois présente en l'absence d'entérocoque.

**Tableau 4:** Distribution des entérocoques dans les échantillons d'eau - *Summary of Enterococci in water samples.*

		n	Enterococci	
			Range (cfu/100°ml)	Median
<b>Surface water</b>	Water course	5	>100	>100
	Lake water	4	0 - >100	70
<b>Groundwater</b>	Deep well	5 (4)	0	0
	Dug well	16(21)11	0 – 1300	4.5
	Spring	14 (121)	0 – 2400	3022.5

Source : INS/EPESS 2012

### 4.1.3 Coliphages

Les analyses de coliphages (un type de bactériophage) et d'helminthes (vers parasites) ne sont pas des méthodes d'analyse standard. À l'Université de Yaoundé I, la méthode d'analyse de coliphage a été réalisée pendant une étude de terrain et la plupart des prélèvements ont été analysés pour y détecter les coliphages dans l'eau. Naturellement, les coliphages (virus) infectent les *E. coli*, là où celles-ci sont présentes. Les coliphages servent d'indicateur pour les virus excrétés avec les matières fécales. Les recherches ont montré que la fonction d'indicateur des coliphages est évidente, mais ces coliphages ne sont pas représentatifs de tous les virus excrétés qui ont des résistances aux contraintes

environnementales différentes (résistance aux rayons UV, par exemple). Néanmoins, plusieurs pays (comme les Pays Bas) recourent à l'analyse des coliphages dans l'eau potable afin de surveiller la menace virale des différentes eaux.

Dans les échantillons d'eau prélevés à Yaoundé, la concentration en coliphages la plus importante (moyenne 4140 pfu/100°ml) a été mesurée dans l'eau de rivière qui reçoit les eaux usées. Dans l'eau de lac, la concentration de coliphages est divisée par 10 et l'on a mesuré une concentration moyenne de 150 pfu/100°ml, ce qui est proche des concentrations observées dans les rivières propres qui reçoivent des eaux usées traitées.

Les eaux souterraines provenant des sources et des puits ont été contaminées par des coliphages à des concentrations respectives de 6 pfu/100°ml et 10 pfu/100°ml. Ces concentrations sont faibles mais les concentrations maximum observées à l'une des sources (180 pfu/100°ml) sont équivalentes à la concentration moyenne au lac. Les sources et les puits sont sujets aux contaminations fécales et les virus autres que les coliphages peuvent aussi contaminer ces sources d'eau.

Dans les forages, seules des concentrations inférieures à 5 pfu/100°ml ont été relevées. Les résultats indiquent que les puits profonds sont protégés des contaminations fécales. Si des virus viennent à se trouver dans l'eau, il vont être filtrés lors de la pénétration de celle-ci dans le sous-sol et être adsorbés dans les particules du sol en annexe.

**Tableau 5:** Distribution des coliphages dans les échantillons d'eau - *Summary of Coliphages in water samples.*

		n	Coliphages	
			Range (pfu/100°ml)	Median (pfu/100°ml)
<b>Surface water</b>	Water course	3	219 – 4740	4140
	Lake water	4	<20 -3920	150
<b>Groundwater</b>	Deep well	4	<2 - <5	<2
	Dug well	12	<3 – 70	10
	Spring	12	0 – 180	6

Source : INS/EPESS 2012

## 4.2 Chimie - Chemistry

### 4.2.1 Tamponnage pH - pH-buffering

La valeur de pH est un paramètre essentiel pour la détermination biologique et chimique de la qualité de l'eau du fait qu'elle est étroitement liée à l'activité, la décomposition et les conditions de vie des organismes à la surface de l'eau, du sol et des environnements des eaux souterraines. La mobilité d'éléments trace comme le plomb (Pb), le cadmium (Cd) et d'autres, dépend fortement du pH de l'eau. L'activité<sup>7</sup> de l'ion hydrogène ( $H_3O^+$ ) est mesurée in situ et le « pH » est son logarithme décimal négatif. Le pH dépend beaucoup dans la plupart des eaux naturelles de l'échange gaz-eau du dioxyde de carbone ( $CO_2$ ) et par conséquence, essentiellement de l'activité biologique (respiration). Avec l'alcalinité (principalement bicarbonate :  $HCO_3^-$ ), le pH définit le système tampon de l'eau naturelle. Alors que dans les eaux souterraines, le pH est régulé en grande partie par une activité microbienne menant à la minéralisation de matière organique, la photosynthèse et la respiration des algues et macrophytes dans les eaux de surface agissent de manière prédominante sur le pH. Il faut s'attendre à un cycle de pH diurne très marqué pour un grand plan d'eau stagnante hautement eutrophique à hypertrophique comme le lac municipal de Yaoundé.

Le Tableau 6 expose les résultats obtenus dans les eaux souterraines et de surface de Yaoundé à la fin de la saison sèche 2012. Tous les tableaux de résultats des paramètres physico-chimiques suivront le même modèle où figurent les centiles<sup>8</sup> les plus fréquemment cités min (p0), p10, p25, p50, p75, p90, max (p100) comme indicateur de la distribution des valeurs, suivis de la moyenne arithmétique (x) puis de la déviation standard (sd). Il est fortement recommandé de prendre p50 (aussi appelée valeur médiane<sup>9</sup>) comme mesure fiable d'une valeur moyenne, au lieu de la moyenne arithmétique (x).

**Tableau 6:** Distribution des valeurs de pH dans les eaux souterraines et de surface - *Distribution of pH in ground- and surface water.*

	min	p10	p25	p50	p75	p90	max	n	nv
Groundwater	4.6	4.8	5.2	5.7	6.2	6.4	7.2	40	1
Surface water	6.7	6.9	7.0	7.2	7.7	8.3	8.9	11	0

Source : INS/EPESS 2012

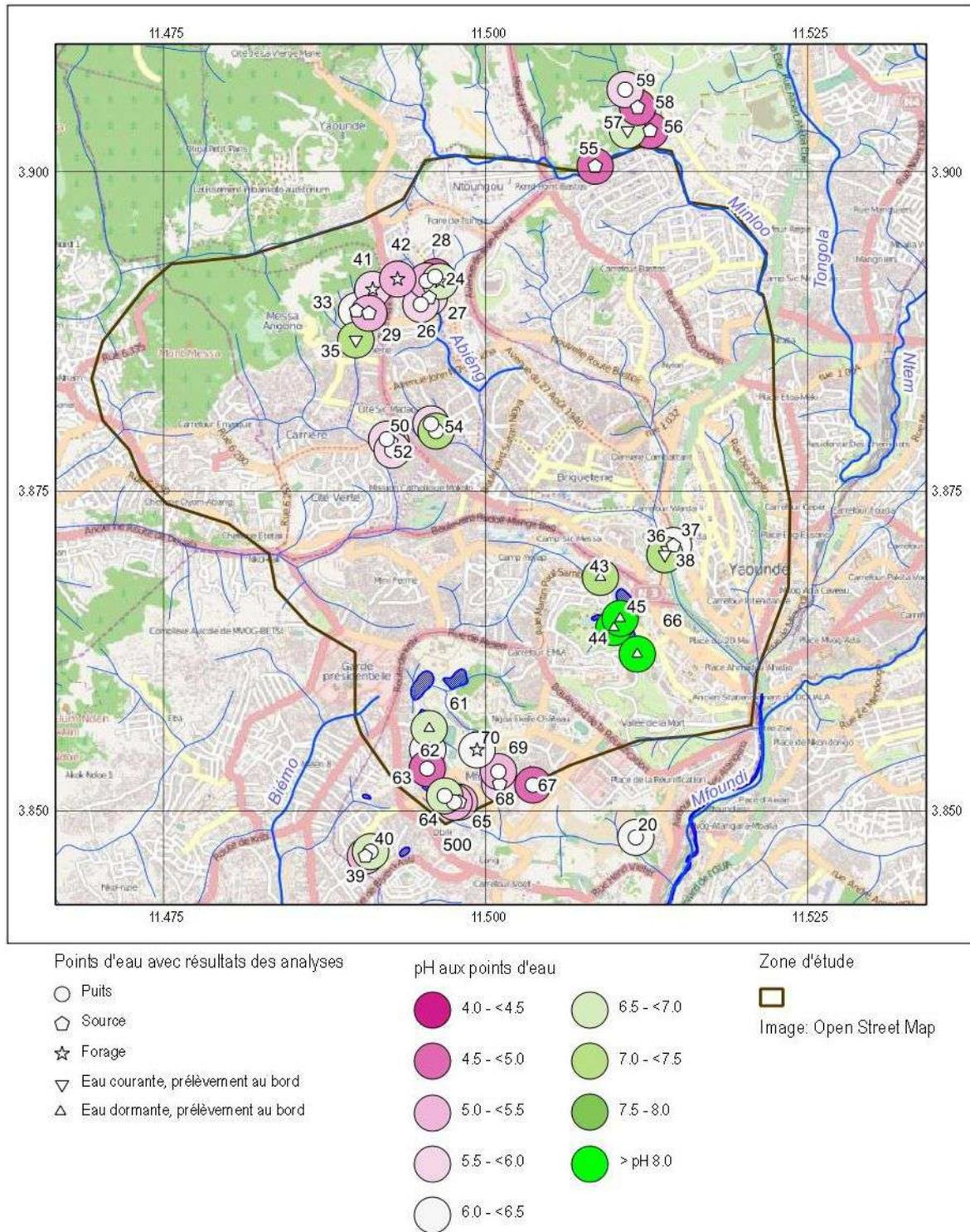
La valeur médiane de pH 5.7 (p50) indique que les eaux souterraines ont une tendance acide. 90% de tous les prélèvements ont un pH inférieur à 6.5 avec un pH minimum de 4.6, indiquant une capacité tampon du pH nulle à faible. Ceci est conforme à l'environnement naturel hydrologique et géologique de Yaoundé, où l'aquifère résiduel

<sup>7</sup> A type of concentration measure, diminished by an activity coefficient (< 1, >0)

<sup>8</sup> The value X below which X % of the concentrations are found.

<sup>9</sup> 50 % of all values are above and 50 % of all values are below the median (p50)

superficiel (latérite) appauvri en cations basiques est rechargé par les eaux de pluie, elles-mêmes déjà acides (Braun et al. 2005, Mfopou Mewouo et al. 2009).



**Figure 18:** Distribution spatiale des pH incluant les résultats de la reconnaissance cartographique, les symboles verts indiquent la gamme approximative de pH neutre (pH 6.5 - pH 8) - *Spatial distribution of pH including the results of the reconnaissance mapping, green symbols indicate the circum-neutral pH-range (pH 6.5 – pH 8).*

Carte thématique 1: pH aux points d'eau en annexe.

Le schéma en Figure 18 montre la répartition spatiale des valeurs. On peut y voir que le pH est inférieur, proche des zones de recharge, haut perchées sur les pentes de la colline. Le pH dans les eaux souterraines est plus élevé dans les zones plus superficielles comme Madagascar. Un temps de séjour plus élevé des eaux souterraines permettant plus de réactions microbiennes, mais également des fondations de bâtiments constituées de béton plus répandues, sont responsables de l'augmentation du pH vers des valeurs neutres.

L'eau de surface qui s'écoule se situe dans la fourchette de valeurs neutres ou en est proche, conformément à l'apport en eaux usées des ménages contenant des détergents alcalins (du savon dans la majorité des cas) et les eaux usées des toilettes. L'eau de surface provenant du lac municipal ou le bassin à poissons constituent un environnement hautement productif où les algues, et en particulier les macrophytes, (figure 18) utilisent tout le CO<sub>2</sub> disponible pour la production primaire durant la journée et génèrent un pH basique.

Le pH non influencé (géogénique) des eaux souterraines est légèrement acide, mais tout de même au-dessus des valeurs testées dans le cadre de la préparation des directives l'OMS (2004). Aucune valeur recommandée n'a été proposée dans l'OMS (2004). Le pH généralement acide est typique pour un environnement tropical sur une roche résiduelle et lessivée comme la latérite (Viers et al. 1997, 2000, Braun et al. 2005). Un pH plus ou moins neutre est associé à la contamination d'eau et/ou la corrosion des structures souterraines des bâtiments.

On peut s'attendre à des valeurs de pH naturelles autour de 7 que lorsqu'un forage profond permet d'accéder eaux souterraines qui ont été en contact prolongé avec la roche mère, inaltérée et non lessivée, qui peut contenir des traces de calcite (Ball et al. (1984), chapitre 2.5). La productivité autorisée pour un tel forage nécessite une évaluation minutieuse pour éviter toute dégradation de la qualité de l'eau.

#### **4.2.2 Substances nutritives - Nutrients**

Les substances nutritives sont les éléments et leurs composés moléculaires minéraux nécessaires à la formation de matière organique dans les plantes, animaux, champignons et bactéries. Les plantes vertes à la base de la chaîne alimentaire ont besoin des macro-nutriments azote (N), potassium (K) et phosphore (P) pour assimiler et transformer le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) en hydrates de carbone (glucides), graisses et matériaux structuraux comme la cellulose. Toutes les substances nutritives sont recyclées après la mort des organismes par les bactéries et champignons. Le cycle des nutriments dans la biosphère a lieu dans les déchets végétaux, dans les ordures ménagères, les sols et les aquifères de subsurface.

##### **4.2.2.1 Composés azotés - Nitrogen compounds**

L'azote est le macro-nutriment essentiel pour la construction de matériau vivant de cellule. Le cycle géochimique de l'azote entre ses différentes formes chimiques et stades d'oxydation a lieu principalement entre le vaste réservoir d'azote de base de l'atmosphère (diazote N<sub>2</sub>) et les réservoirs dans la biosphère où l'azote est lié dans différents mélanges

et stades d'oxydation. Une contribution mineure et lente d'azote provenant de la géosphère (libéré par altération chimique) est souvent masquée par des processus biologiques rapides. Dans les écosystèmes terrestres dans lesquels l'activité humaine a peu d'impact, l'azote transformé en acides aminés par une symbiose plante/bactérie est distribué vers le bas de la chaîne alimentaire et est présent dans les réserves permanentes des plantes, animaux, bactéries et champignons. Après la mort d'un organisme, l'azote organique lié est recyclé et finalement reminéralisé par des bactéries qui le désintègre en mélanges organiques, présents sous forme d'ions qui se dissolvent dans l'eau (ammonium, nitrates, nitrites) et gaz (diazote ( $N_2$ ), oxydes azoteux ( $NO_x$ ) et oxydes de diazote ( $N_2O$ )). Les déchets de plantes et les sols non saturés en eau dans la rhizosphère sont les milieux où le cycle de l'azote est rapide. A l'inverse, le cycle est beaucoup plus lent dans les sols saturés (engorgés) ou dans les aquifères. Le métabolisme de tous les êtres hétérotrophes (animaux, incluant l'Homme) progresse avec l'excrétion d'azote organique et organiquement lié dans l'urine et les matières fécales, contribuant ainsi au cycle des nutriments.

L'agriculture est au cœur de toutes les cultures à population de grosse taille, et amène avec elle le développement de l'urbanisation. La croissance extensive de la population a été rendue possible par les progrès de la fertilisation des terrains agricoles. L'usage de combustibles fossiles pour la fixation industrielle de l'azote atmosphérique a repoussé les limites naturelles de la disponibilité de d'azote fertilisant dans un écosystème terrestre, jusqu'au point où actuellement, 1.5 × de l'azote (préindustriel) mondial est ajouté par les activités humaines, principalement dans les pays dotés d'une agriculture industrialisée (UNESCO-SCOPE 2007). L'usage de fertilisant excédant la capacité d'absorption végétale et sa suppression lors des récoltes ont mené à l'eutrophisation des eaux douces de surface, des zones littorales et ont endommagé les réservoirs d'eaux souterraines.

Concernant les sources d'azote dans l'environnement urbain et péri-urbain de Yaoundé, il est important de prendre en compte les conditions de vie par rapport au mode d'évacuation des eaux usées (voir chapitre 6.2). Supposons une population de 2 millions d'habitants pour Yaoundé<sup>10</sup> à laquelle on applique les valeurs de l'EcoSanRes ([www.ecosanres.org](http://www.ecosanres.org)) pour l'Ouganda (Jönsson & Vinneras 2004) dans Richert et al. (2010), l'excrétion moyenne d'azote, de phosphore et de potassium par la population de Yaoundé serait respectivement de l'ordre de 4400 tonnes de N/an, 600 tonnes de P/an et 2000 tonnes de K/an. 4400 tonnes de N/an se traduisent par 19 555 tonnes/an de nitrates<sup>11</sup> si l'on ne tient pas compte des pertes gazeuses des latrines à fosse et des fosses septiques, ni d'une éventuelle dénitrification dans l'aquifère. Cette quantité de nutriments atteint finalement le sous-sol puis le système de drainage du

---

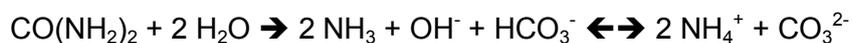
<sup>10</sup> Calculated using FAO nutritional data

<sup>11</sup> To visualize: 19 555 tons/a of nitrate, multiplied by 1.37 to yield  $NaNO_3$  would give 26 810 tons/a of sodium nitrate "salpêtre". Trains with 977 carriages of 20 tons payload or almost three carriages per day.

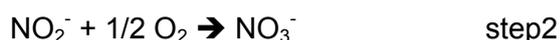
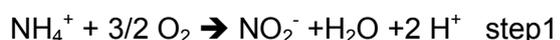
Mefou/Mfoundi<sup>12</sup> à l'exception du phosphore. Les tonnages annuels évoqués ci-dessus montrent pourquoi la composition d'excrétions humaines et leur transition chimique et microbiologique dans le sous-sol doivent être examinées pour ce qui concerne la qualité des eaux souterraines de Yaoundé.

Les sels minéraux (en quantités décroissantes) comme NaCl, KCl, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, MgCO<sub>3</sub> et autres sont contenus dans l'urine humaine pour un total de l'ordre de 14 g/l. Cela fait de l'urine une solution saline proche de la moitié du total des solides dissous (Total Dissolved Solids, TDS) de l'eau de mer (Putnam 1971). L'azote est principalement présent dans bon nombre de mélanges organiques parmi lesquels l'urée (appelée aussi diamide carbonique, CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> with 13 g/l), la créatinine (C<sub>4</sub>H<sub>7</sub>N<sub>3</sub>O with 1.5 g/l) et la créatine sont des éléments importants, suivis par les acides aminés. Approximativement 1/10 de l'azote dans l'urine humaine est initialement présent sous forme d'un sel d'ammonium organique (hippurate, citrate, urate et autres) (Putnam 1971). Celui-ci devient anion nitrate (qu'on désigne sous le terme de nitrates) dans les eaux souterraines et dans des conditions aérobies.

La chimie de l'ammonification est la première étape, qui a lieu principalement dans les fosses d'aisance, les fosses septiques ou à proximité de ces installations, dans l'aquifère. En présence de l'enzyme uréase, l'urée (diamide carbonique) est décomposé en ammoniac et en anion d'acide carbonique. La réaction globale augmente localement le pH dans des valeurs basiques. De par les équilibres de solution gaz/eau de l'ammoniac (NH<sub>3</sub>) et du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) impliqués, il se produira des pertes gazeuses dans l'environnement. L'environnement naturel des eaux souterraines étant acide, cela va favoriser la neutralisation d'environnements localement basiques et la préservation d'ammoniac sous la forme du cation ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>).



Une fois être passé par la forme minérale et dissoute sous forme de sel, deux étapes de transformation vont suivre, catalysées respectivement par les microbes Nitrosomonas (étape 1) et Nitrobacter (étape 2). Dans un système non tamponné (sans carbonates présents ni dans l'aquifère, ni dans le sol), la première étape de nitrification va favoriser une acidification des eaux souterraines, si ammonification et nitrification ont lieu dans des environnements séparés.



---

<sup>12</sup> The mean application rate of mineral fertilizer in Cameroon is 6.7 kg/ha arable land. In 2011 20.3% of the area of Cameroon were reported as arable (<http://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.AGRI.ZS/countries>)

## Conclusion

On pourra conclure que l'urine et les matières fécales humaines sont de loin le réservoir d'azote, mais aussi des nutriments potassium et phosphore, le plus important des zones urbaines et périurbaines de Yaoundé. Il s'est imposé comme une ressource ancienne très précieuse au potentiel évident qui constitue une alternative aux fertilisants minéraux onéreux. Ce schéma d'assainissement, effectué sur un large plan, localement ancré aurait le potentiel a) d'améliorer les problèmes de santé publique, et probablement b) d'améliorer la qualité des eaux souterraines en réduisant considérablement la quantité d'azote dans les eaux souterraines urbaines. Des initiatives comme EcoSanRes ([www.ecosanres.org](http://www.ecosanres.org)), cité dans Richert et al. (2010), fournissent les bases de connaissances scientifiques en y intégrant les aspects d'ingénierie, de biologie, d'agriculture, ainsi que les problèmes de gestion et d'acceptation par les populations.

### 4.2.2.1.1 Nitrates

En conditions d'oxydation et d'aérobiose, le nitrate est la forme stable de l'azote dans les sols et les eaux souterraines. À l'exception des engrais minéraux contenant des sels de nitrate, tous les engrais minéraux et organiques appliqués sont soumis aux transformations microbiennes qui ont lieu dans le sol comme indiqué dans le chapitre 4.2.2.1. L'anion nitrate dissous, ne peut pas interagir fortement (être absorbé ou réversiblement adsorbé) avec des particules. Par conséquent, son déplacement dans le sous-sol est rapide, comparable à celle du chlorure ou d'autres substances de marquage qui sont transportés à la vitesse moyenne de l'eau dans l'environnement. L'application d'engrais minéraux, dépassant continuellement les exigences de croissance des plantes, ont conduit à un changement majeur dans la teneur mondiale en azote (UNESCO–SCOPE ; 2007). On note le lessivage des nitrates dans les cours d'eau dans les pays où l'agriculture industrielle a conduit à l'eutrophisation et à la dégradation des ressources en eau et eaux côtières (UNESCO –SCOPE ; 2007). Dans le contexte subsaharien, la disponibilité de l'azote est généralement faible (Galloway et al., 2004 ; PNUE ; 2007), mais dans les grandes agglomérations humaines et les zones rurales moins intensive, l'utilisation des terres agricoles industrialisés se démarque.

La concentration d'anions de nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) dans l'eau potable (OMS, 2004 ; 2011) ne doit pas dépasser la valeur limite de 50 mg/l donnée par l'OMS pour des raisons épidémiologiques. Cette valeur de limite a été adoptée en raison de la réglementation de l'eau dans de grandes parties du monde. Cette valeur limite vise à protéger les êtres humains, surtout les bébés âgés de moins de trois mois, d'une maladie potentiellement

mortelle appelée « **methaemoglobinemia**<sup>13</sup> » ou cyanose (OMS 2011). Le nitrate est le précurseur du nitrite de composé réduit ( $\text{NO}_2^-$ ) qui oxyde rapidement l'hémoglobine (Hb) dans le sang en méthémoglobine (metHb) et donc empêche le transport de l'oxygène aux cellules du corps. La condition de la méthémoglobinémie est exacerbée dans le cas d'infections gastro-intestinales des bébés qui sont le résultat de l'eau insalubre. Les bébés nourris au sein sont moins exposés aux méthémoglobinémies que les bébés nourris au biberon (OMS, 2011). Les deux nitrates et nitrites sont facilement assimilés avec de la nourriture et l'eau potable.

Les concentrations moyennes en nitrate dans les eaux de pluie mesurées à Zoa-étélé (IDAF site 5) sont de 0.42 mg/l (Sigha et al., 2003). Viers et al. (2000) ont trouvé une concentration moyenne de décharge de 1.2 mg/l de nitrate dans la rivière Mefou. En comparaison aux eaux des rivières européennes, cette concentration est faible. Mais si on compare à 0.06 mg/l de nitrate mesurée dans le Nyong en aval du confluent de la Mefou (à Mbalmayo) obtenue par Viers et al., (1997), une forte influence urbaine devient visible. Les concentrations de nitrates dans les eaux souterraines de Zoa-étélé étaient proche de 0.07 mg/l et les concentrations élevées n'ont jamais dépassé 0.6 mg/l (Viers et al., 1997, 2000). Il ressort que les concentrations en nitrate dans les fonds géogéniques des eaux souterraines dans un environnement de forêt tropicale sont très faibles. Le nitrate dans l'eau de pluie (IDAF site 5) est plus élevé en raison de l'oxydation de l'ammoniac. Le nitrate et l'ammonium dans l'eau de pluie en milieu urbain peuvent aussi être plus élevés en raison des émissions de gaz urbaines.

**Tableau 7:** Distribution des nitrates dans les eaux souterraines et de surface échantillonnées en avril 2012 à la fin de la saison sèche, groupées par types de lieux de prélèvement : puits, source, eaux souterraines, eaux superficielles, valeurs en mg/l - *Distribution of nitrate in groundwater and surface water sampled in April 2012 at the end of dry season additionally grouped by "shallow dug well (Puits)" and "spring (Source)"; values in mg/l.*

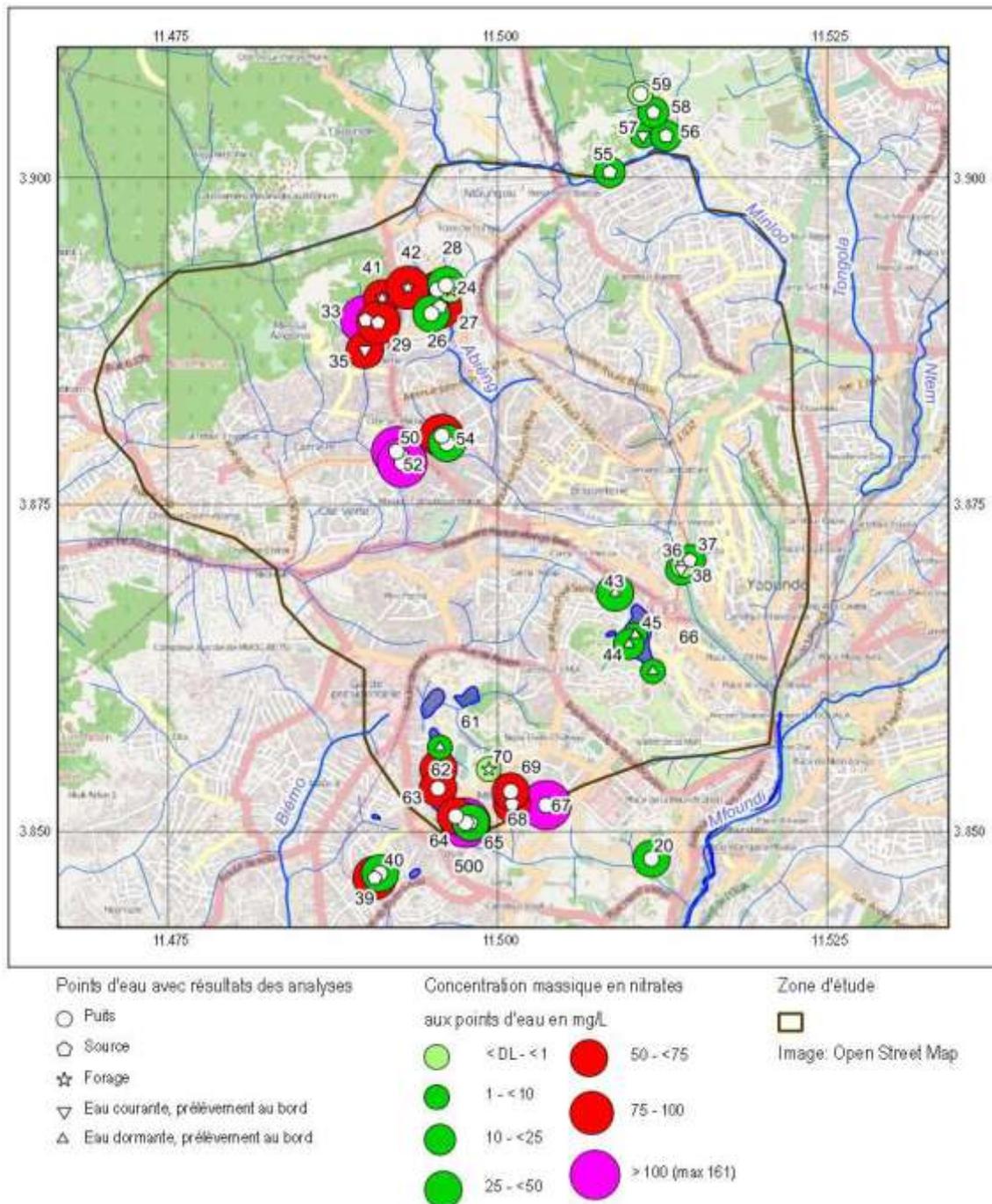
Group	min	p10	p25	p50	p75	p90	max	n	nv	x	sd
Puits	0.010	6.9	25.6	51.3	88.4	115.0	161.0	20	19	57.9	43.4
Source	12.5	12.6	17.6	75.6	108.0	140.2	141.0	13	13	70.6	49.3
Souterrain	< 0.01	1.5	22.1	51.2	99.9	125.1	161.0	37	36	60.3	45.8
Surface	0.49	0.8	2.1	8.8	21.3	50.6	65.6	10	10	17.0	20.3

Source : INS/EPESS 2012

Le nitrate est un paramètre clé pour déterminer la qualité inorganique et l'impact anthropique sur les eaux souterraines. Le Tableau 7 montre les taux de nitrate mesuré dans les échantillons d'eau. Les valeurs supérieures sont représentées en rouge. La concentration médiane (p50) de nitrate dans les eaux souterraines dépasse la valeur de limitation de l'OMS de 50 mg/l. Cela signifie que plus de la moitié des points d'eau examinés ne sont pas appropriés en tant que sources d'eau potable. Les eaux souterraines des sources ont une valeur médiane plus élevée que celle des puits et le niveau de nitrates et atteint un maximum de 140 mg/l dans une source (point n°103)

<sup>13</sup> called « blue baby-disease » in Europe and the US

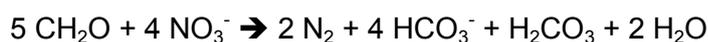
appartenant au groupe spatial de Messa -Carrière (voir Figure 104, Figure 111). Un maximum de nitrate de l'ordre de 161 mg/l a été trouvée dans un puits peu profond (point n°111) dans le groupe spatial de Madagascar. En outre, les gammes présentées dans le tTableau 7 montrent clairement que même les points d'eau avec une faible concentration en nitrate absolue sont sous une forte influence urbaine par rapport aux concentrations de fond géogéniques de la forêt tropicale ci-dessus cités. Contrairement aux concentrations maximales des eaux souterraines, les concentrations de nitrates présents dans les eaux de surface est inférieure à la fin de la saison sèche.



**Figure 19:** Distribution spatiale des nitrates dans les eaux souterraines et de surface, en mg/l- *Spatial distribution of nitrate in groundwater and surface water; in mg/l.*

La distribution spatiale de nitrate à la fin de la saison sèche est représentée sur la Figure 19. Les points d'eau rencontrés en conformité avec la limite de l'OMS sont verts et celles qui dépassent la valeur de 50 mg/l sont rouges, et la couleur violet, pour les points d'eau qui sont clairement très supérieur à la limite avec une concentration > 100 mg/l. La répartition spatiale montre que les concentrations maximales (> 100 mg/l) peuvent être trouvés à proximité des frontières de la zone de recharge comme dans la grappe spatiale Messa-Carrière. Les pics de concentration sont également présents dans les quartiers Madagascar et Ngoa-Ekélé. Les trois groupes géographiques densément peuplés à savoir Messa, Madagascar et Ngoa-Ekélé ont les niveaux de concentration en nitrate élevé, par opposition à la grappe spatiale Ekoudou, où la zone de chalandise est peu peuplée. Une concentration proche de la limite de détection a été trouvée dans un puits peu profond situé en amont (point n°102). Les concentrations aussi faibles ont également été détectées dans deux forages bien équipés, à pompe manuelle (point n°118) près de Tsinga Olinga et bien sur le campus de l'Université de Yaoundé I (point n°121). Sur les quatre forages échantillonnés, deux avaient des concentrations inacceptablement élevées. Il est à noter que ces deux forages ont été forés dans le gneiss à des positions situées plus haut dans le terrain sur une assise rocheuse fracturée. L'eau coulant à la surface provenant de zones densément peuplées présente des teneurs élevées en nitrate, comme on le voit à l'entrée du lac ou en aval de la source (point n°103) appartenant à la zone de grappe spatiale Messa -Carrière. Tous les points d'eau peu peuplés de la grappe spatiale d'Ekoudou avaient des concentrations acceptables, mais déjà élevés en nitrate. La carte se trouve en annexe dans la Carte thématique 3: Concentration massique en nitrates aux points d'eau

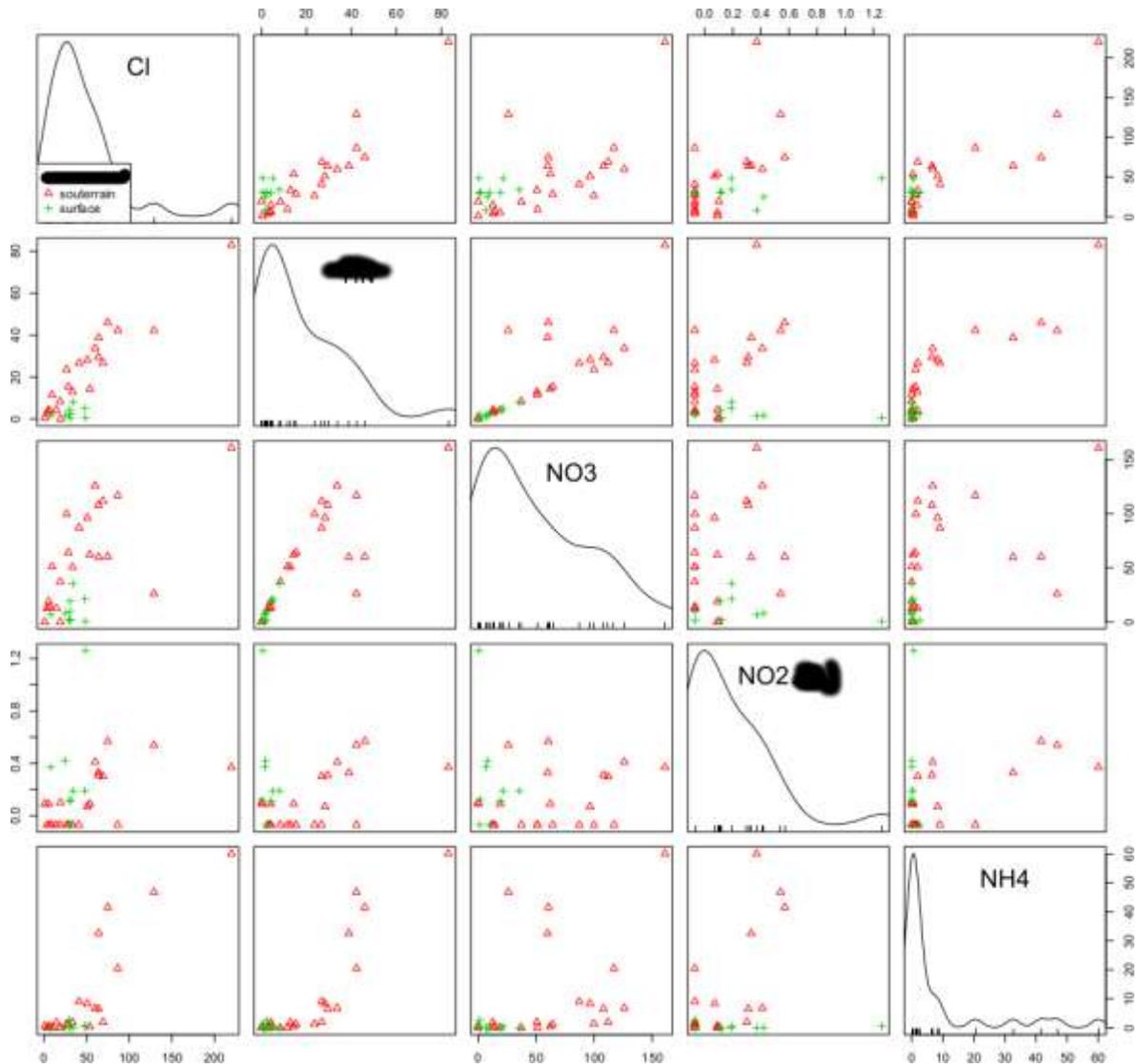
La dénitrification est un processus naturel de diminution des concentrations de nitrates dans les eaux souterraines, les sols et sédiments marins dans des conditions anoxiques (Appelo & Postma, 2005) selon l'équation ci-dessous.



L'absence d'oxygène dissous, la présence du carbone organique en excédent, des bactéries nitrifiantes et /ou la présence de minéraux contenant du soufre dans le sol sont des conditions nécessaires. Ces exigences sont rarement trouvées dans des conditions oxydantes et les conditions d'altération tropicales. Un surplus de substrat organique en combinaison avec les conditions de l'eau branché serait probablement trouvé dans les vallées fluviales de dépôts alluviaux «bas-fond». Ceux-ci peuvent être à la fois riche en carbone organique et en minéraux argileux et sauraient ainsi favoriser la saturation en eau et, avec elle des conditions réductrices. Parce que le potentiel de dénitrification est supposé être limité dans l'espace, dans tous les cas le nitrate devrait régner en tant que composé d'azote essentiel, lorsque la distance entre les sources d'azote et de décharge d'eau souterraine sont suffisamment long pour effectuer la nitrification.

Une masse d'eau de surface stagnante est caractérisée par des concentrations plus faibles, pointant vers l'adsorption par les plantes et/ou la dénitrification. Une forte diminution de la concentration en nitrate a été trouvé à l'entrée (35.6 mg/l) et à la sortie (1.2 mg/l) du lac municipal à la fin de la saison sèche (Figure 19). Les concentrations

d'ammonium mesurées sont proches de la limite de détection. Ce résultat illustre la forte activité biologique des algues microscopiques, les cyanobactéries, les bactéries et les macrophytes (Figure 16) présent dans le lac municipal hypertrophique.



**Figure 20:** Représentation graphique (en mg/l) des composés de l'azote (nitrates, ammonium, nitrite et azote inorganique total (AIT)) et chlorures dans les eaux souterraines et de surface de la ville de Yaoundé, valeurs en mg/l - *Crossplot of nitrogen-compounds (nitrate, ammonium, nitrite and total inorganic nitrogen (TIN)) and chloride in Yaoundé groundwater and surface water; axis values are in mg/l.*

Parce que le nitrate est un paramètre hydrochimique clé, sa dépendance et la corrélation avec les paramètres d'azote doivent être étudiées ici. Le chlorure a été en outre choisi<sup>14</sup>

<sup>14</sup> Reading instructions: **1.** you limit your view and only look at the lower left side of the so-called "matrix-scatter plot", it is many ( $n^2$ ) XY-plots arranged in a matrix. XY-plots are used to visualize and correlate data. **2.** You look for the diagonal line running from upper left to lower right. **3.** There you find all parameters included there with their statistical distribution expressed in the form of a density diagram (the curve) and the ticks for individual values. The numeric scale of the axis you

en tant que paramètre qui n'est pas être soumis à des transformations microbiologiques notables. Pour présenter la corrélation ou la non- corrélation entre les paramètres d'analyse de la matrice croisée a été choisi comme la méthode graphique. La matrice croisée se compose de plusieurs diagrammes de dispersion (xy-diagrammes) disposés dans une matrice. Le croisé de la matrice dans la fFigure 20 montre à la fois la distribution (comme une courbe de distribution de la densité sur la diagonale) et la corrélation du nitrate des paramètres azotées, et le nitrite à la fois dans les eaux de surface et souterraines en comparaison avec le chlorure. L'azote inorganique totale (Total inorganic nitrogen, TIN) est la somme de l'analyse de l'azote des ions nitrate, nitrite et ammonium mentionnés ci-dessus. Il s'agit d'un paramètre de synthèse utile pour approcher la teneur en azote total de l'eau souterraine, où la contribution de l'azote particulaire peut être négligée, contrairement à l'eau de surface.

La caractéristique la plus importante dans la Figure 20 pour les eaux souterraines (triangles rouges) est généralement une corrélation positive entre le chlorure et le nitrate avec une dispersion considérable. Cette corrélation devient beaucoup plus évidente si l'azote inorganique total (TIN) est considéré. Les valeurs aberrantes qui sont tous des puits peu profonds disparaissent la plupart du temps. Pour des concentrations maximales d'ammonium (> 20 mg/l), il existe ainsi une légère indication d'une corrélation positive avec le chlorure comme c'est le cas pour de fortes concentrations de nitrite. Un croisé de matrice supplémentaire avec des symboles groupés selon le type de point d'eau est donné dans l'annexe.

## Conclusion

Les concentrations de nitrates dans les eaux souterraines urbaines de Yaoundé sont élevées à la fin de la saison sèche. Ils dépassent la valeur limite de l'OMS de 50 mg/l chez la plupart des points d'eau échantillonnés. La plupart des eaux souterraines prélevée sont donc impropre à la consommation humaine se référant seulement à la qualité des produits chimiques inorganiques. Les risques pour la santé des concentrations élevées de nitrates donnés augmente les risques de santé proposés par les mauvaises pratiques d'hygiène détectés (voir chapitre 4.1ff.). Ils peuvent aggraver les conditions anémiques fréquemment signalés chez les enfants de moins de cinq ans (voir chapitre 7.3) et augmenterait les conséquences sanitaires de par les maladies gastro-intestinales. La comparaison des

---

find either directly below on top or below in the column or directly to the left or right below. **4.** Then you look for the two parameters you want to see the correlation of. E.g. you compare nitrate results (NO<sub>3</sub>) with chloride (Cl). The correlation graph is found at the crossing point of row and column. **5.** You see a linear arrangement of values with strong scatter. A linear regression coefficient R would give you a measure of quality of correlation.

données de concentration de nitrate avec du chlorure montre que les deux sont reliés statistiquement. Cette relation devient plus forte si on considère la somme de nitrate, d'ammonium et de nitrite (TIN) qui tend vers une source et une origine commune pour ces deux substances dans les eaux souterraines.

#### 4.2.2.1.2 Ammonium

L'OMS n'a donné aucune valeur limite pour la concentration en cations ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) dans l'eau potable (OMS 2004). Leurs effets directs et indirects sur la santé sont inconnus. Les traces d'ammonium dans les eaux souterraines peuvent être générées par l'altération chimique des roches riches en feldspath primaire ou en trois couches de micas et les minéraux argileux. Une autre source mineure de l'azote ammoniacal vient des précipitations. Les concentrations moyennes d'eau de pluie en ammonium mesurées à Zoétélé (IDAF place 5) est de 0.19 mg/l (Sigha et al., 2003). La proportion d'ammonium dans l'eau de pluie est connue pour augmenter le vent dans les installations d'élevage intensif, où une perte sous forme de vapeur de l'azote ammoniacal peut être observée dans les installations de stockage du fumier. Pour les bassins versants avec les milieux forestiers tropicaux en vigueur, l'ammonium a été déterminé dans l'eau de surface de quatre stations fluviales du bassin du Nyong, Viers et al. (2000) ont signalé des concentrations bien souvent en dessous de la limite de détection, comprises entre 0.27 et 12.9 mg/l pour le Nyong, 0.52 et 17.4 mg/l pour le So, 0.12 et 12.4 mg/l pour l'Awout enfin, 0.18 et 6.0 mg/l pour la rivière Mengong.

Il a été indiqué que l'ammonium n'est pas un sous-composé oxydant stable dans le sol et les eaux souterraines dans les conditions (chapitre 4.2.2.1 ci-dessus) qui prévalent à Yaoundé. Pourtant, des concentrations très élevées d'ammonium ont été observées (Tableau 8). Des concentrations élevées ( $> 0.5$  mg/l) de l'ammonium associé au nitrate pour plus de 11 points d'eau comme on le voit dans la Figure 20 est un phénomène inattendu. Les causes possibles peuvent être: a) le résultat d'une proximité et d'un petit temps de transport entre les sources d'ammonium (par exemple, urine, latrines), b) les taux d'ammonium excédant la capacité de nitrification ou c) l'inhibition de la nitrification sur la voie de transport à grande entrée. Une inhibition de la nitrification pourrait être due à des valeurs faibles de pH généralement rencontrées (chapitre 4.2.1) et/ou d'autres conditions de vie défavorables pour les bactéries impliquées dans la transformation de la nitrification (chapitre 4.2.2.1 ci-dessus). De Boer et Laanbroeck (1989) ont signalé une nitrification par les bactéries chimio autotrophe de l'urée *Nitrosospira* jusqu'à un pH de 4.5 et d'ammonium jusqu'à un pH de 5.5. Neill et al. (1997) indiquent que la nitrification peut être lente dans les sols forestiers tropicaux riches en fer. Avec l'utilisation des terres agricoles, la majeure partie de l'ammonium est dérivée d'un engrais minéral ou d'un engrais organique. L'utilisation des terres urbaines avec les toilettes et les fosses septiques abondantes dans les zones d'habitation à forte densité (voir chapitre 5.2) pouvant être considérée comme une forme spécialisée de l'application d'engrais organique.

Le tableau 8 montre que la concentration moyenne d'ammonium (médiane, p50) dans les eaux souterraines a presque atteint 2 mg/l, ce qui est élevé. Les puits peu profonds ont une concentration de 6.5 mg/l d'ammonium en moyenne et peuvent présenter des concentrations maximales de 23.8 mg/l. L'ammonium a été trouvé à des concentrations beaucoup plus faibles dans l'eau de surface, et était à peine détectable dans le Lac Municipal, où les conditions sont favorables à la nitrification et l'absorption d'azote par les plantes.

**Tableau 8:** Distribution des valeurs d'ammonium dans les eaux souterraines et de surface échantillonnées en avril 2012 à la fin de la saison sèche, groupées par types de lieux de prélèvement : puits, source, eaux souterraines, eaux superficielles, valeurs en %. - *Distribution of ammonium in groundwater and surface water sampled April 2012 at the end of dry season grouped by "shallow dug well (Puits)", "spring (Source)", "groundwater (souterrain)" and "surface water (surface)"; values in mg/l.*

Group	min	p10	p25	p50	p75	p90	max	n	nv	x	sd
Puits	0.390	0.592	0.86	<b>6.49</b>	29.6	54.8	80.4	20	19	17.2	23.8
Source	< 0.01	0.003	0.51	<b>3.05</b>	7.3	15.7	16.3	13	13	4.9	5.6
Souterrain	< 0.01	0.004	0.64	<b>1.89</b>	10.7	40.7	80.4	37	36	10.9	18.7
Surface	0.01	0.01	0.01	<b>0.02</b>	0.6	2.3	2.57	10	10	0.6	0.9

Source : INS/EPESS 2012

Carte thématique 4: Concentration massique en ammonium aux points d'eau au 1/30 000 en annexe. Alors que les points d'eau de la grappe spatiale Messa-Carrière montrent des concentrations d'ammonium importantes, les hautes et très hautes concentrations se trouvent dans la zone de Madagascar et aussi, dans la grappe de Ngoa-Ekélé qui se situe à une altitude inférieure. Le pôle spatial d'Ekoudou a des concentrations plus faibles. Il existe une distinction entre les eaux souterraines des forages d'une part, des sources et des puits d'autre part. Dans Messa-Carrière deux des trois forages étudiés bien équipés avec une pompe manuelle, ont des valeurs inférieures à la limite de détection (point n°118) située près de Tsinga Olinga à la plus faible concentration. La nappe phréatique d'un forage privé (point n° 104), foré sur la propriété privée était proche de la limite de détection. Pourtant, le cas d'un forage privée (point n°114) situé à une position intermédiaire de la pente (construite de manière appropriée, protégée et avec une pompe submersible installée à environ 60 m sous la surface) pose un problème, car il est démontré que l'ammonium (1.3 mg/l) peut déjà être considérable dans les eaux souterraines des aquifères rocheux fracturés, situé non loin de la limite supérieure<sup>15</sup> des habitations. En regardant les concentrations en nitrate<sup>16</sup> pour soutenir l'information, il devient clair que les deux forages privés sont fortement touchés et présentent des teneurs au dessus de la limite de l'OMS.

<sup>15</sup> More caution is required, when possible nitrification taking part in a storage tank is taken into account which may conceal the insitu concentration.

<sup>16</sup> nitrate not being subjected to microbial changes under storage in a tank

Le forage d'approvisionnement public de Tsinga Olinga (point n°118) est en dessous de la limite de détection pour les nitrates et l'ammonium. Étant situé à proximité de la chaussée dans une vallée («bas-fond»), les environs sont marqués par de nombreux sites humides et des sources diffuses, indiquant une surface de la nappe phréatique proche de la surface de la terre. L'emplacement du puits est donc bien situé, car il est sur une zone d'évacuation pour d'écoulement des eaux souterraines. La mauvaise utilisation de l'eau dans le voisinage du puits (par exemple pour le nettoyage des taxis) peut donc être d'une influence limitée, aussi longtemps que les taux de prélèvement d'eau sont faibles et les eaux de surface ne pénètrent pas dans le cône de dépression.

Le quatrième forage quant à lui, situé dans le campus de l'Université de Yaoundé I, près du sommet topographique local dispose également d'un réservoir où la nitrification peut atténuer l'ammonium initialement présent les concentrations de nitrate trouvé ont été en dessous de la limite de détection. Cette qualité dément la situation constatée dans les puits peu profonds situés sur les pentes du petit bassin versant d'Olezoa distant de seulement quelques centaines de mètres. La recharge de l'eau souterraine locale sur le terrain ouvert du campus est suggérée comme une source d'eau souterraine. Gardant à l'esprit la zone limitée disponible sur le campus, un taux d'abstraction bas est conseillé pour conserver ce réservoir de formation vraisemblablement locale des eaux souterraines.

### **Conclusion**

En résumé, la concentration en ammonium dans les eaux souterraines urbaine de Yaoundé est généralement très élevée. Le lac municipal est un nitrificateur efficace qui atténue les composés azotés dissous présents dans l'eau de surface par roulement. L'ammonium et le nitrate des eaux souterraines peuvent coexister, dans les puits et les deux sources. Les résultats indiquent clairement, que les forages forés dans les roches fracturées peuvent fournir l'ammonium aux eaux libres dans les conditions hydrauliques/hydrologiques appropriées contrairement aux puits peu profonds. Mais ils montrent aussi que les concentrations significatives en ammonium et les concentrations de nitrates au-dessus des limites se trouvent dans le terrain rocheux fracturé. Cela est vrai même si la position du puits est située plus haut dans une zone habitée, les puits sont protégés par une margelle et l'aire est assainit. Un choix hydrogéologique judicieux est nécessaire pour les nouveaux forages qui doivent être forés, en accordant une attention particulière à la l'utilisation des terres dans la zone de bassin versant, qui ne doit pas être à forte densité d'habitat, mais plutôt une grande utilisation des terres.

#### 4.2.2.1.3 Nitrite

Le nitrite est le composé intermédiaire instable entre ammonium et nitrate réduite. Il est stable dans les conditions oxydées (voir ci-dessus) et dans le processus de nitrification microbologique qui aboutit à la production d'acide (voir ci-dessus). Les concentrations accrues peuvent être trouvés dans le cas où l'alimentation en oxygène est insuffisante. Le seuil limite de l'OMS pour le nitrite est de 3 mg/l pour les mêmes raisons épidémiologiques et toxicologiques que le nitrate (voir 4.2.2.1.1 ci-dessus).

**Tableau 9:** Distribution des valeurs de nitrites dans les eaux souterraines et de surface échantillonnées en avril 2012, à la fin de la saison sèche, groupées par types de lieux de prélèvement : puits, source, eaux souterraines, eaux superficielles, valeurs en % - *distribution of nitrite in groundwater and surface water sampled April 2012 at the end of dry season grouped by "shallow dug well (Puits)", "spring (Source)", "groundwater (souterrain)" and "surface water (surface); values in mg/l.*

Group	min	p10	p25	p50	p75	p90	max	n	nv	x	sd
Dug well	< 0.07	< 0.07	0.075	0.30	0.36	0.55	0.57	20	11	0.25	0.20
Spring	< 0.07	NA	NA	NA	NA	NA	0.41	13	8	0.08	0.14
Ground- water	< 0.07	< 0.07	< 0.07	0.08	0.31	0.45	0.57	37	22	0.16	0.18
Surface water	< 0.07	NA	NA	NA	NA	NA	1.26	10	9	0.30	0.39

Source : INS/EPESS 2012

Un maximum global de nitrite de 1.26 mg/l a été trouvé dans l'eau de surface circulant dans le Bois Saint-Anastasia. Ce petit et dynamique réservoir d'azote n'est pas examiné plus avant car les concentrations trouvées dans les eaux souterraines étaient bien en dessous de cette limite, avec 0.57 mg/l dans un profond puits.

#### 4.2.2.2 Phosphore - Phosphorus

Le phosphore est l'un des macro-nutriments cités ci-dessus. Dans la plupart des cas, il est le nutriment « limiteur », ce qui signifie qu'une carence limite la croissance végétale et par conséquent, la productivité agricole. Cette condition limitante est due au fait que le phosphore a tendance à réagir avec les surfaces, à précipiter et à être rapidement absorbé par les végétaux. Une grande quantité de phosphore de l'ordre de 600 tonnes de P/an) est par la population urbaine et périurbaine de Yaoundé. Cela contraste avec les résultats du Tableau 10, qui montre clairement que seules des petites quantités de phosphore dissous (sous forme d'anion phosphate ( $PO_4^{3-}$ ) et ses formes hydrolysées) sont détectées dans l'environnement, dans les eaux souterraines ou superficielles. Cela s'explique par la très forte interaction chimique entre le phosphore minéral sous forme d'anion phosphate et zone de grande étendue de surfaces fer (III) dans le sol et l'aquifère. Dès la rapide sorption de phosphate dissous sur les hydroxydes de fer (III) ( $Fe(OH)_3$ )<sup>17</sup>, un processus de vieillissement va produire essentiellement des composés insolubles.

<sup>17</sup> A similar process also occurs with aluminium hydroxides, also being present in large amounts. Fe(III)phosphate may form too.

Ainsi, le phosphore est supprimé de manière efficace des eaux souterraines et va rester dans le sous-sol. Il s'agit d'un point important à noter, parce que les autres nutriments solubles nitrates, ammonium et potassium provenant de l'urine humaine démontrent clairement la proximité entre les sources de nutriments (latrines à fosse, fosses septiques) et les sources d'approvisionnement en eau. La plus importante concentration dans les eaux souterraines (190 µg/l) a été mesurée dans le puits de Tsinga Olinga. On peut y pomper des eaux souterraines pures/propres, à faible TDS et à minéralisation clairement différente. L'étude des eaux de ce puits démontre l'influence de l'interaction eau/roche.

**Tableau 10:** Distribution des valeurs de phosphates dissous dans les eaux souterraines et de surface échantillonnées en avril 2012, à la fin de la saison sèche, groupées par types de lieux de prélèvement : puits, source, eaux souterraines, eaux superficielles, valeurs en % - *Distribution of dissolved phosphate in groundwater and surface water sampled April 2012 at the end of dry season grouped by "shallow dug well (Puits)", "spring (Source)", "groundwater (souterrain)" and "surface water (surface)"; values in mg/l.*

Group	min	p10	p25	p50	p75	p90	max	n	nv	x	sd
Dug well	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	0.03	20	19	0.011	0.005
Spring	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	0.33	1.6	13	13	0.13	0.45
Ground- water	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	0.03	1.6	37	36	0.06	0.27
Surface water	< 0.03	< 0.03	< 0.03	0.05	0.12	0.19	0.2	10	10	0.07	0.07

Source : INS/EPESS 2012

Le lac municipal de Yaoundé a été submergé de fortes charges de nutriments dissous (azote (N), phosphore (P) et carbone organique (TOC)) sous forme dissoute et particulaire (Tabue Youmbie et al 2009, Naah 2009, Kouam Kenmogne et al 2010). Un tel plan d'eau à surface eutrophique (Figure 21) peut être doté de concentrations en phosphore soluble réactif plus élevées. On a relevé le soir dans l'eau de surface, au milieu du lac, une concentration de 50 µg/l (Figure 16, à droite), contre 70 µg/l à l'embouchure (Figure 21, à droite), alors que les valeurs mesurées en eaux profondes et à l'émissaire (exutoire du lac) étaient situées sous le seuil de détection. Cela contribue à que le lac municipal est un pour P et N. Le phosphore total (TP), qui est la somme des phosphores dissous, colloïdaux et particulaires n'a pas été mesuré ici.



**Figure 21:** (à gauche) *Eichhornia crassipes* accompagné de *Pistia stratiotes* flottant et *Nymphaea spec.*, qui sont les macrophytes dominants dans le lac municipal; (à droite) tapis épais d' *Eichhornia crassipes* près de l'embouchure du Mingoa avec le lac municipal - (left) *Eichhornia crassipes* together with floating *Pistia stratiotes* and *Nymphaea spec.* as dominant macrophytes of the Municipal Lake; (right) thick carpet of *Eichhornia crassipes* near the inflow of Mingoa to Municipal Lake.

L'eau de surface du Mfoundi échantillonnée au Bois de St Anastasie a une teneur en phosphate dissous qui atteint 200 µg/l, conformément aux autres paramètres physico-chimiques et observations (turbidité visible en Figure 15). On pourrait s'attendre à des quantités considérables de TP dans ces eaux de surface.

### Conclusion

Pour résumer, la mobilité du phosphore dans l'environnement du sol et de l'aquifère est généralement très basse et contrôlée par la latérite riche en fer (III) qui constitue l'aquifère supérieur, en dépit d'un apport important en phosphore, trouvé dans les eaux de surface chargées en eaux usées.

#### 4.2.2.3 Silice – Silica

La silice dissoute dans les eaux naturelles est le résultat de l'altération des silicates. Elle est considérée dans l'eau de surface comme un élément nutritif pour la plante en raison de son rôle dans la croissance des diatomées. Viers et *al.* (1997) ont signalé des concentrations de SiO<sub>2</sub> de 10.8 mg/l pour la Mefou et 7.9 mg/l pour le Nyong à Mbalmayo. Les concentrations trouvées dans la ville de Yaoundé sont au même niveau et se situent dans la gamme de 2.5 et 13 mg/l (Tableau 11). Ils ne sont pas significativement différents entre les eaux souterraines et les eaux de surface. Le niveau peut être comparé à la concentration de l'eau souterraine dans les régions tempérées (résultats non montrés). Il indique que les sols latéritiques contiennent encore un réservoir de silices solubles.

**Tableau 11:** Distribution des valeurs en silice dissous dans les eaux souterraines et de surface échantillonnées en avril 2012 à la fin de la saison sèche, groupées par types de lieux de prélèvement : puits, source, eaux souterraines, eaux superficielles, valeurs en mg/l - *Distribution of dissolved silica in groundwater and surface water sampled April 2012 at the end of dry season grouped by "shallow dug well (Puits)", "spring (Source)", "groundwater (souterrain)" and "surface water (surface)"; values in mg/l.*

Group	min	p10	p25	p50	p75	p90	max	n	nv	x	sd
Puits	2.5	3.7	5.7	7.0	9.4	11.5	13.1	20	19	7.5	2.8
Source	3.8	4.1	5.0	8.5	10.0	11.6	11.9	13	13	7.8	2.9
Souterrain	2.5	4.2	5.5	8.4	10.5	13.0	48.5	37	36	10.3	9.6
Surface	6.7	6.9	7.4	7.7	9.3	10.1	10.6	10	10	8.2	1.3

Source : INS/EPESS 2012

#### 4.2.2.4 Carbone Organique Total (COT) – Total organic carbon (TOC)

Le carbone organique total (COT, en: Total organic carbon (TOC)) est un paramètre utilisé pour décrire la composition des eaux usées infiltrées, en remplacement de la «demande chimique en oxygène» par oxydation avec du dichromate. Il permet de décrire la charge organique de l'eau. Dans les eaux de surface ou des eaux souterraines propres, les COT/TOC sont généralement identiques avec une précision analytique au carbone organique dissous (COD/DOC). Les gros poids moléculaire de substances colloïdales appelées acides organiques humiques et fulviques, provenant de la décomposition des

plantes et des processus du sol constituent l'essentiel du COT (ou COD) dans les eaux naturelles. Viers et *al.* (1997) ont signalé des concentrations de COD de 21.6 mg/l pour la Mefou et de 23 mg/l pour le Nyong à Mbalmayo.

Les concentrations de quelques eaux de surface rapportés dans le Tableau 12 sont nettement en dessous de la concentration naturelle de bas-fonds (Viers et *al.*, 1997). Ces derniers représentent des rivières à courants lents dans un environnement de forêts tropicales avec d'abondantes litières végétales. Les concentrations les plus élevées ont été trouvées dans le lac municipal hypertrophique et les effluents d'eaux usées.

La concentration moyenne des COT pour les eaux souterraines par la méthode analytique est de 0.5 mg/l, ce qui est proche de la limite de détection. Cette valeur est presque un ordre de grandeur plus faible que les concentrations moyennes de COT dans les eaux souterraines des régions tempérées (résultats non montrés). Des concentrations élevées ne se trouvent que dans certains puits peu profonds. Ces résultats pourraient indiquer soit une efficacité des eaux souterraines et/ou l'oxydation complète des particules et de la matière organique dissoute dans les zones d'aquifère des sols non saturés.

**Tableau 12:** Distribution des valeurs de Carbone Organique Total dans les eaux souterraines et de surface échantillonnées en avril 2012 à la fin de la saison sèche, groupées par types de lieux de prélèvement : puits, source, eaux souterraines, eaux de surface, valeurs en mg/l - *Distribution of total organic carbon (TOC) in groundwater and surface water sampled April 2012 at the end of dry season grouped by "shallow dug well (Puits)", "spring (Source)", "groundwater (souterrain)" and "surface water (surface)"; values in mg/l.*

Group	min	p10	p25	p50	p75	p90	max	n	nv	x	sd
Puits	< 0.1	< 0.1	0.23	0.60	1.65	3.3	6.8	20	19	1.3	1.7
Source	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.20	0.80	3.6	13.2	13	13	1.4	3.6
Souterrain	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.50	1.10	2.5	13.2	37	36	1.2	2.4
Surface	< 0.1	0.27	6.3	7.6	8.5	8.8	8.8	10	10	6.3	3.3

Source : INS/EPESS 2012

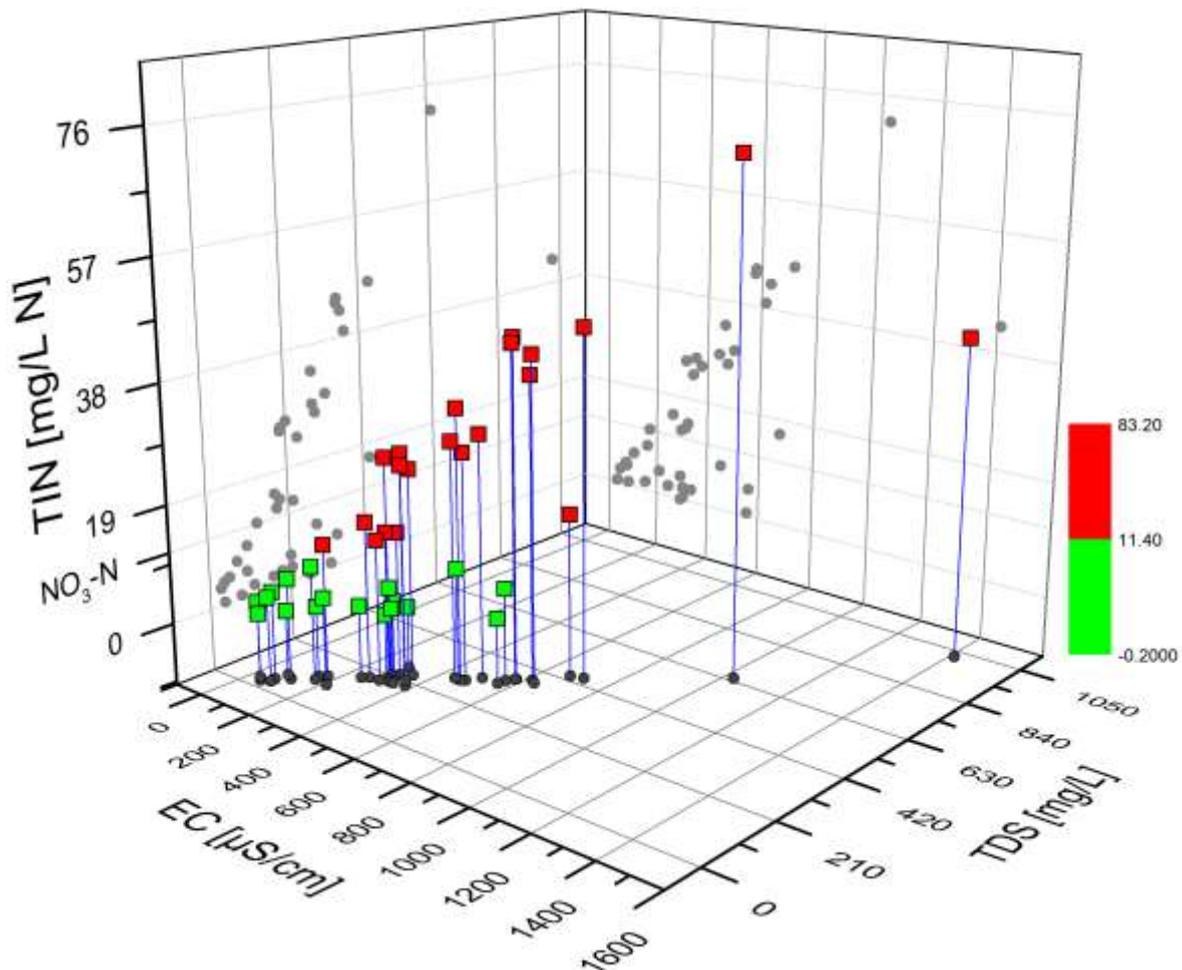
## 4.2.3 Composants principaux - Main components

Les composants principaux de l'eau sont les substances dissoutes (les sels d'ions et les composés moléculaires) qui constituent entre 95 et 99 % de la substance dissoute de l'eau. Les principales composantes sont complétées par des éléments mineurs et les composantes traces.

### 4.2.3.1 Solides Dissous Totaux - Total dissolved solids

Les solides totaux dissous (STD = Total dissolved solids, TDS) sont des paramètres résumant le poids de substance dissoute par litre (l) d'échantillon. Ils doivent normalement être calculés à partir de la somme analytique de cations et anions (sels) et de l'addition des composés covalents comme le carbone macromoléculaire organique dissous (COD), à l'exception des substances volatiles (gaz, contaminants organiques). Les paramètres gravimétriques robustes d'un échantillon d'eau comme les «résidus séchés» ont généralement une bonne corrélation avec les STD. La conductivité électrique (CE, Electrical Conductivity, EC) est un paramètre physico-chimique important qui doit être

mesuré sur le terrain, de préférence in situ. Habituellement, une bonne corrélation linéaire<sup>18</sup> existe entre le STD analytique et la CE mesurées sur le terrain comme indiqué dans la Figure 22, où les STD<sup>19</sup> et les CE sont tracées pour les eaux de surface et souterraines.



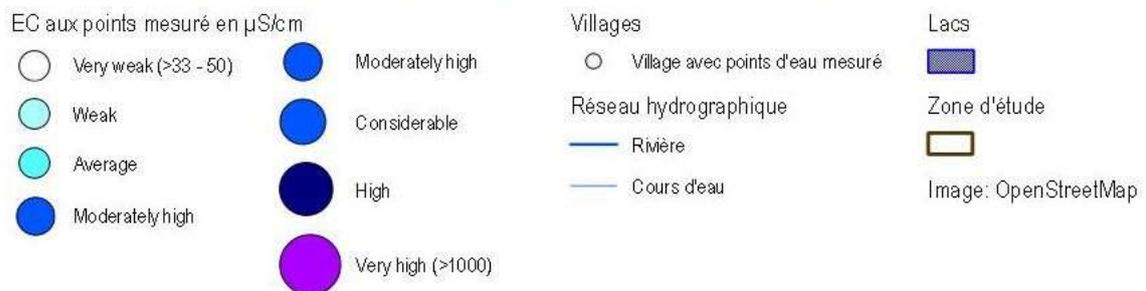
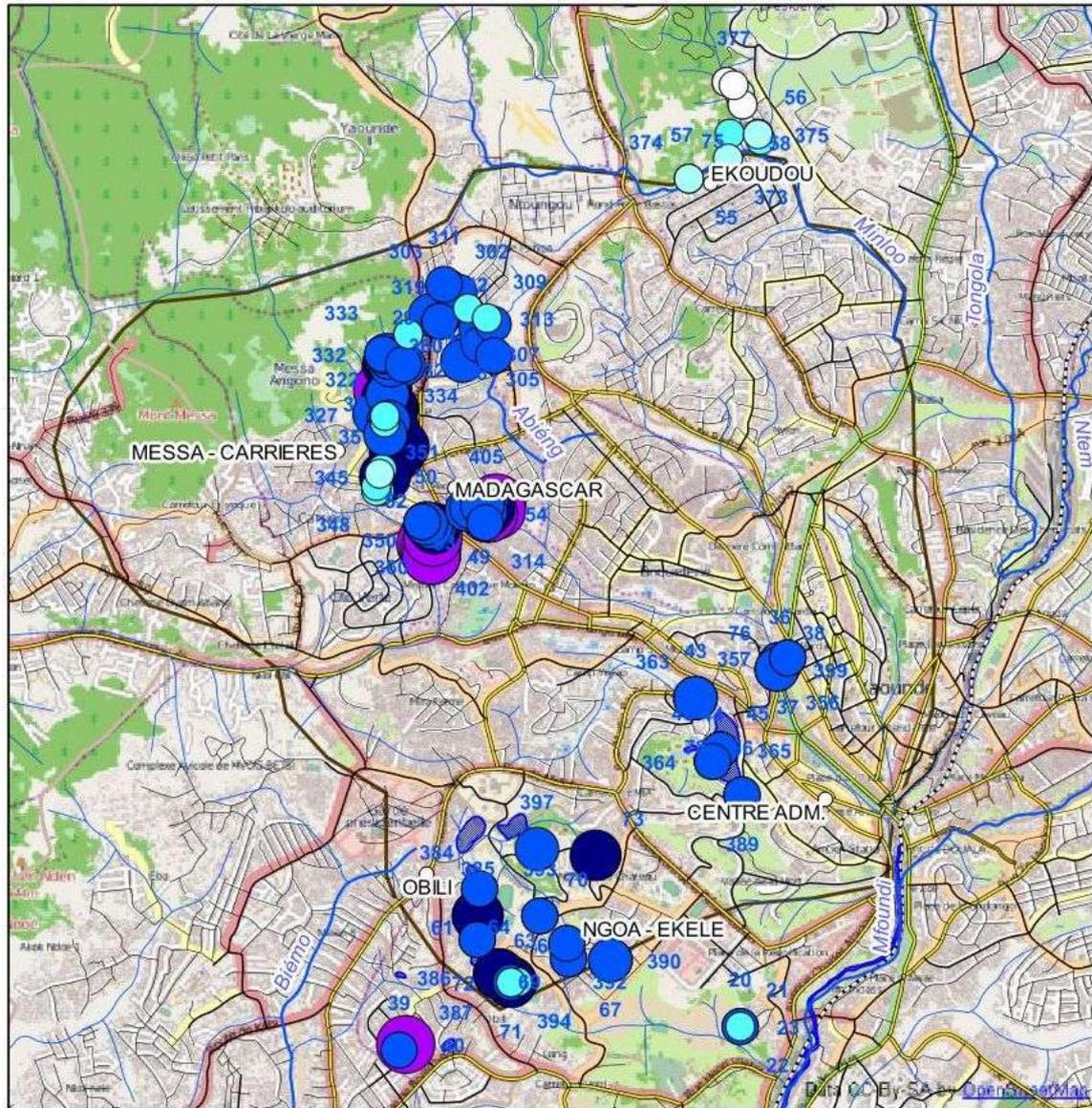
**Figure 22:** Corrélation entre quelques paramètres décrivant la qualité des eaux comme la conductivité électrique (CE), les solides totaux dissous (STD) et le l'azote inorganique total (TIN). La bare rouge-verte indique 50 mg/l de nitrate exprimé en 11.4 mg/l - *Correlation of sum parameters describing water quality like electrical conductivity (EC), total dissolved solids (TDS) and total inorganic nitrogen (TIN) ; The red-green division is based on 50 mg/l nitrate expressed as 11.4 mg/l N.*

L'azote inorganique totale (TIN) est incluse comme une mesure intégrée de la contamination de l'azote (chapitre 4.2.2.1.1). La corrélation linéaire observée entre la CE, STD d'une part et de l'azote inorganique total d'autre part, montre la forte relation entre la

<sup>18</sup>  $TDS = 0.662 \times EC - 8.42$ , with  $R = 0.974$  ;  $n = 37$ , EC in  $\mu S/cm$ , TDS in mg/L.

<sup>19</sup> It is discouraged to take the TDS-reading an EC-probe can give out because of a built-in function. Quality-control reasons are important.

force de la minéralisation des eaux souterraines et de l'azote en tant que composant principal d'origine anthropique provenant de l'eau.



**Figure 23:** Distribution spatiale de la conductivité électrique (CE), incluant le résultat de la reconnaissance cartographique, valeurs en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , classement d'après Rodier (1996) – *Spatial distribution of electrical conductivity (EC) including the results of the reconnaissance mapping; values in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , classification according to Rodier (1996).*

La Figure 23 contient les résultats de la CE, de la cartographie géochimique en plus de la Carte thématique 2: Conductivité électrique aux points d'eau

de l'annexe qui représente les points d'eau échantillonnés et donc représentées dans la Figure 22. La plupart des points d'eau sont entre les classes suivantes, «Modérément Elevée» et «Elevée» avec trois échantillons dans la classe «Très Elevée»<sup>20</sup>. Tous les points d'eau dans la grappe spatiale Ekoudou appartiennent à des classes «Très Faible» à «Moyenne» ceci est en accord avec le caractère très rural de leur emplacement (chapitre 3.3.2). Une autre observation de la Figure 23 montre que les puits peu profonds et les sources avec les CE basses peuvent être observés à proximité des conductivités électriques beaucoup plus élevés comme on le voit en aval de la grappe spatiale de Messa Carrière. Cette fonction peut être soit a) un indice sur le caractère ponctuelle de la source de contamination s'il est considéré à l'échelle locale ou b) la perte d'eau douce à partir d'un réseau de distribution âgé.

**Tableau 13:** Distribution des Solides Dissous Totaux (SDT) dans les eaux souterraines et de surface échantillonnées en avril 2012 à la fin de la saison sèche, groupées par types de lieux de prélèvement : eaux souterraines, eaux superficielles, valeurs en mg/l - *Distribution of total dissolved solids<sup>21</sup> (TDS) in groundwater and surface water sampled April 2012 at the end of dry season grouped by "shallow dug well (Puits)", "spring (Source)", "groundwater (souterrain)" and "surface water (surface)"; values in mg/l.*

Group	min	p10	p25	p50	p75	p90	max	n	nv	x	sd
Groundwater	27.4	59.7	105.8	195.5	308.4	412.9	1022	36	5	243.5	196.9
Surface water	113.9	159.7	189.0	213.3	311.5	349.4	439.7	10	1	247.1	97.5

Source : INS/EPESS 2012

A la fin de la saison sèche, la moyenne des STD dans les eaux souterraines sont de 195 mg/l (soit une CE de 290  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), représentant une «minéralisation moyenne». Moins de 10 % des valeurs de STD trouvées dans la ville de Yaoundé sont en dessous de 50 mg/l (Tableau 13). Dans le bassin du Nyong, le bas-fond naturel de l'eau de la rivière est proche de 20 mg/l pour les STD, dans un environnement de forêt tropicale (Ayers et al., 2000). Le STD géologique et atmosphérique de l'eau souterraine est situé entre 10 mg/l sur les pentes jusqu'à 20 - 30 mg/l dans la zone d'altération ou dans des zones marécageuses (Braun et al., 2005.). Les STD de deux bouteilles d'eau minérale sont respectivement de 228 et 260 mg/l. Ils viennent d'un environnement géochimique complètement différent.

### Conclusion

Les valeurs de conductivités électriques et les concentrations STD trouvées dans les eaux souterraines en milieu urbain à Yaoundé sont au-dessus des concentrations naturelles tropicales. Ils représentent une très forte influence anthropique.

<sup>20</sup> The classification of Rodier (1996) is frequently used to distinguish EC-results into « minéralisation faible » (>100 -  $\leq$  200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), « minéralisation moyenne » (>200 -  $\leq$  333  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), « minéralisation moyenne accentuée » (>333 -  $\leq$  666  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) and « minéralisation élevée » (>1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

<sup>21</sup> Calculated from analytical results

#### 4.2.3.2 Cations

Les cations calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), sodium ( $\text{Na}^+$ ) et potassium ( $\text{K}^+$ ) constituent la plus grande partie des charges positives dans les eaux naturelles. Les apports atmosphériques de cations par dépôt humide et sec ont un impact. En raison de la géologie, des processus d'altération qui se déroulent dans le sol et de l'équilibre hydrologique, leurs proportions géogéniques sont généralement contrôlées par la présence de types de minéraux. Les apports diffusés par l'utilisation des sols est un autre facteur important. Le chaulage et/ou l'application d'engrais par les apports anthropiques diffusés peuvent changer le degré et le type de minéralisation. La signification du cation ammonium a été traitée dans le chapitre 4.2.2.1.2.4.2.2.1.2 basé sur les nutriments.

**Tableau 14:** Distribution du sodium (Na) dans les eaux souterraines et de surface échantillonnées à la fin de la saison sèche, groupées par types de lieux de prélèvement : puits, source, eaux souterraines, eaux de surface, valeurs en mg/l - *Distribution of sodium (Na) in groundwater and surface water sampled at the end of dry season grouped by "dug well (Puits)", "spring (Source)", "groundwater (souterrain)" and "surface water (surface)"; values in mg/l.*

Group	min	p10	p25	p50	p75	p90	max	n	nv	x	sd
Puits	1.9	4.4	15.8	43.7	59.9	99	141	20	19	43.9	37.8
Source	4.7	6.5	10.8	22.2	40.2	49	52	13	13	25.7	16.9
Souterrain	1.9	7.0	9.8	23.4	51.8	64	141	37	36	34.1	31.1
Surface	8.0	13.7	24.5	26.4	39.4	49	58	10	10	29.5	13.5

Source : INS/EPESS 2012

Dans la ville de Yaoundé les apports diffusent dans les eaux souterraines sont générées par a) les infiltrations de nombreuses fosses septiques et de latrines (chapitre 5.2.2), par b) l'infiltration de l'eau de surface contaminée et c) par l'infiltration lors de recharge de l'eau souterraine locale. La société Hysacam ne s'occupe pas de la collecte des déchets issus de l'élimination des eaux domestiques, des cendres et des lixiviats (chapitre 5.3ff) qui pourtant influencent la qualité de l'eau de recharge. Les Ca et Mg sont également contenues dans les matériaux de construction (béton, plâtre) et peuvent être libérés de ces derniers, en particulier lorsque les structures des bâtiments sont en contact avec les eaux souterraines acides.

**Tableau 15:** Distribution du potassium (K) dans les eaux souterraines et de surface échantillonnées à la fin de la saison sèche, groupées par types de lieux de prélèvement : puits, source, eaux souterraines, eaux superficielles, valeurs en mg/l - *Distribution of potassium (K) in groundwater and surface water sampled at the end of dry season grouped by "shallow dug well (Puits)", "spring (Source)", "groundwater (souterrain)" and "surface water (surface)"; values in mg/l.*

Group	min	p10	p25	p50	p75	p90	max	n	nv	x	sd
Puits	1.2	2.12	3.45	6.9	18.6	25.1	64.6	20	19	12.5	15.0
Source	1.1	1.18	1.63	7.4	10.0	12.9	13.0	13	13	6.7	4.4
Souterrain	1.1	1.4	3.25	5.5	12.0	22.1	64.6	37	36	9.4	11.6
Surface	4.4	5.7	11.8	12	19.1	28.1	36.9	10	10	15.1	9.0

Source : INS/EPESS 2012

Les concentrations de l'eau de pluie de Zoétélé (IDAF site n° 5) commencent avec les teneurs de 0.09 mg/l de sodium (Sighe et al., 2003) évolution de 0.35 à 1.2 mg/l pour les différentes stations d'eau souterraine au sein du petite bassin versant de Nsimi-Zoétélé

(Braun et al., 2005). Les concentrations de 4.1 à 5.9 mg/l se trouvent au contact de la roche non altérée (Braun et al., 2005). Les moyennes des concentrations (p50) de 22.2 mg/l pour les sources suivies et les concentrations élevées de 43.7 mg/l (Tableau 14) pour les puits peu profonds montrent les signes d'une très forte influence anthropique due à l'utilisation des terres urbaines. Les résultats similaires sont données par le potassium dans l'eau de pluie, échantillonné à Zoétélé (IDAF site n°5) avec une concentration moyenne faible de 0.2 mg/l (Sigha et al., 2003). Braun et al. (2005) ont rapporté que 0.08 à 0.8 mg/l de potassium pour les différentes stations d'eau souterraine dans le petit bassin de Nsimi-Zoétélé, qui avaient été sélectionnés en raison de l'absence de l'utilisation des terres par les populations et pouvaient être prises comme un fond géogénique pour le cas de la ville de Yaoundé. Les concentrations de 0.36 à 4.1 mg/l se trouvent au contact de la roche non altérée. Considérant ce fait, la moyenne de concentration (p50) 5.5 mg/l de potassium (Tableau 15) est également le signe d'une très forte influence anthropique due à l'utilisation des terres urbaines<sup>22</sup>.

Les gammes de concentration de sodium et leurs valeurs moyennes sont données dans le Tableau 14 et pour le potassium, dans le Tableau 15. Il est à noter que les valeurs nettement plus élevées se trouvent dans l'eau de puits peu profonds comparée aux sources. Alors que les puits profonds sont plus sujets à la contamination directe et, la pratique de la désinfection régulière des puits à l'eau de Javel<sup>23</sup> pourraient être une autre raison. L'application de l'eau de Javel va augmenter les concentrations de K et Na. Une tendance similaire est à prévoir avec le chlorure produit issu de la réaction de l'eau de Javel après réduction de l'hypochlorite de chlorures oxydant la matière organique vivante ou morte. La qualité de l'eau trouvée dans les puits peu profonds peut être modifiée sur le terrain par rapport à la qualité des eaux souterraines qui se trouvent dans les forages ou dans des sources naturelles. La différence supposée serait due au taux de captage de l'eau contrôlant le temps de séjour moyen de l'eau qui pourrait influencer l'échange de gaz, ainsi que les pratiques de gestion des forages individuels comme la désinfection, l'ombrage par les fermetures et les processus biologiques qui en découlent (par exemple Figure 11).

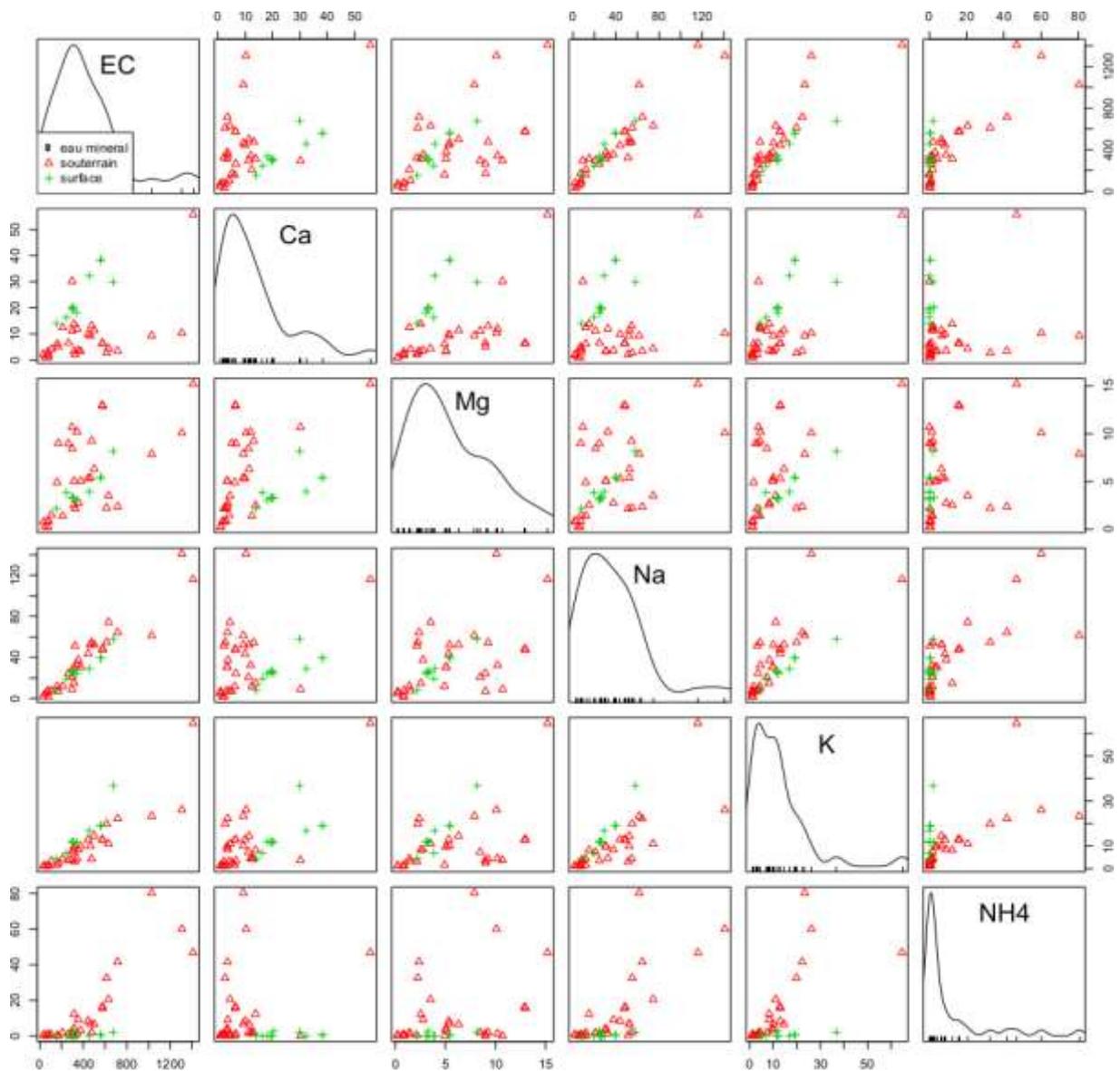
Pour les eaux souterraines comme les sources, qui ne sont pas directement touchés par la chloration, le sodium (22.2 mg/l), suivie par le potassium (7.4 mg/l) est plus concentré que le calcium des métaux alcalino-terreux (5.6 mg/l) et le magnésium (4.9 mg/l) (voir le Tableau 74 en annexe). La corrélation générale entre les principaux cations est donnée à la Figure 24 pour les eaux souterraines (triangles rouges verticaux) et l'eau de surface (des croix vertes). Le sodium et le potassium sont en très bonne corrélation avec la conductivité électrique (Figure 24, Tableau 16). Il peut être observé que la composition cationique de l'eau de surface est sensiblement différente de celle des eaux souterraines. Les caractéristiques particulières sont que les concentrations des eaux de surface sont

---

<sup>22</sup> The absolute concentration is approximately half the concentration found in urban groundwater under the city of Hannover / Germany with a centralized waste water discharge system and abundant K-containing minerals in the aquifer (Hoffmann & Kringel 2008).

<sup>23</sup> KClO, often a mixture of KClO and NaClO

plus élevées en calcium et beaucoup plus faibles en ammonium. La Figure 24 montre que les concentrations en Ca des eaux de surface sont considérablement plus élevées à la fin de la saison sèche que celles des eaux souterraines qui sont faible. Les aquifères tiennent compte de cette différence, les eaux ménagères ou « eaux grises » par rejet directe appauvrissent en Ca (tableau 36) les ruisseaux et les sols latéritiques. Cette différence n'est pas présente pour le Mg.



**Figure 24:** Représentation graphique des cations et conductivité électrique (cation en mg/l, CE en µS/cm) dans les eaux souterraines et de surface de la ville de Yaoundé - *Crossplot of cations and EC in Yaoundé groundwater and surface water; axis values are in mg/l, EC in µS/cm.*

Le coefficient linéaire de corrélation rang de Spearman<sup>24</sup> a été calculé pour les principaux

<sup>24</sup> Values close to 1 denote strong correlation, values towards 0 denote no correlation, while negative values denote inverse correlation

cations y compris l'ammonium décrit ci-dessus et les principaux anions, le nitrate, le chlorure et le bicarbonate pour les eaux souterraines. Les résultats sont donnés dans le Tableau 16 pour permettre une comparaison numérique, en plus de l'impression visuelle. En comparant les métaux alcalino-terreux avec les métaux alcalins, le Tableau 14 montre que le sodium (Na) est le cation dominant, suivi du potassium (K) (le sodium est corrélé avec la diminution de la force:

$$Cl > EC > TDS > TIN = \mathbf{K} > \mathbf{NH4} > HCO3 > NO3 > \mathbf{Mg} > \mathbf{Ca} >> TIC.$$

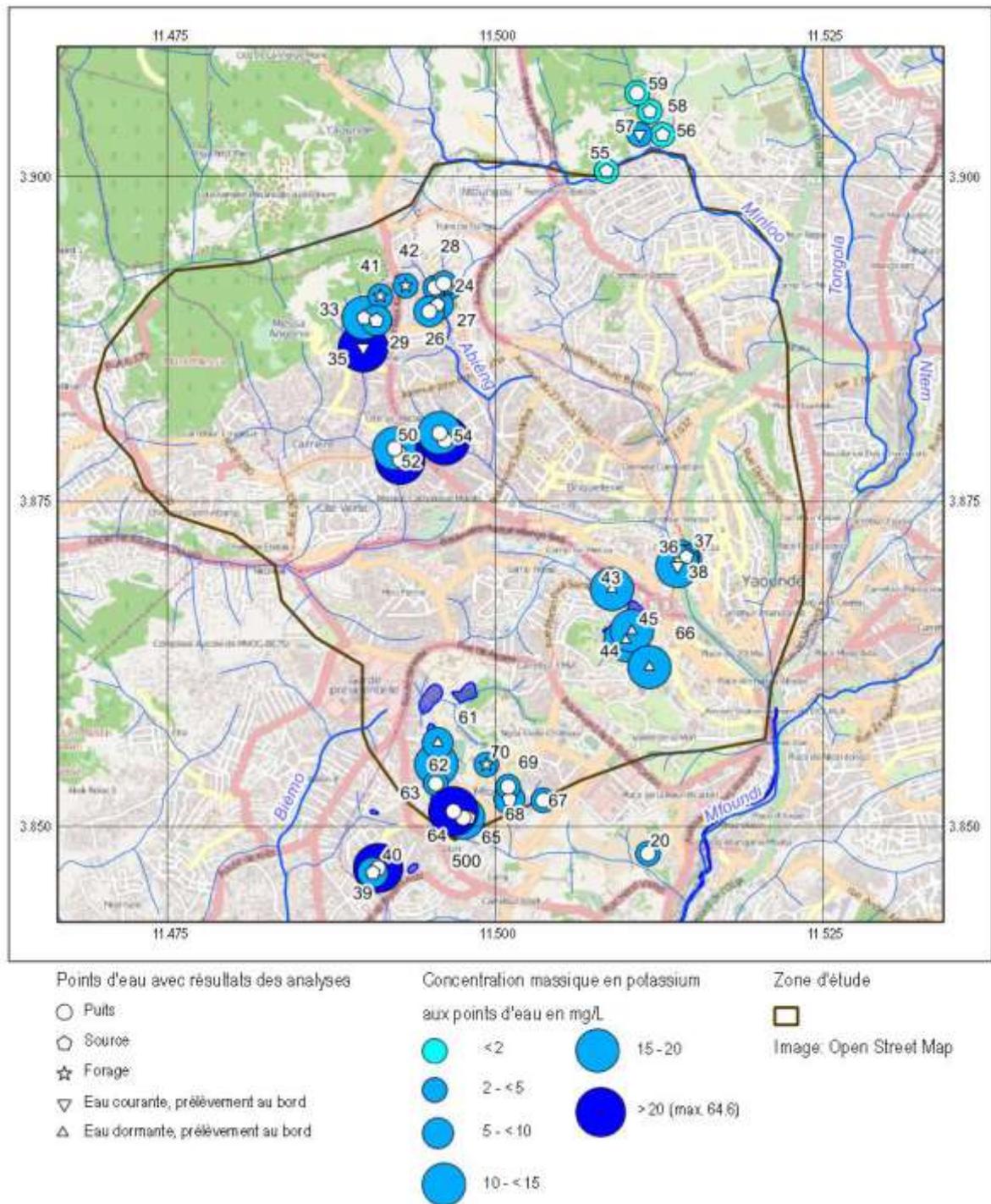
Cela signifie qu'à la suite du chlorure, l'association de Na-K est la plus forte et aussi avec l'azote inorganique total (TIN). Parce que le sodium est très faible dans l'eau de pluie, les concentrations de sodium, potassium, TIN et le chlorure (Cl), sont clairement le résultat de l'utilisation des sols urbains.

**Tableau 16:** Matrice de coefficients de corrélation linéaire pour les principaux composés chimiques; rouge  $\geq 0.75$ , en gras  $> 0.35$ , AIT et SDT sont parmi les paramètres analysés,  $n = 36$  - *Linear correlation coefficients matrix for chemical main components; red  $\geq 0.75$ , bold  $> 0.35$ , TIN and TDS are summary parameters,  $n = 36$ .*

	EC	NO3	NH4	TIN	TDS	CL	K	NA	CA	MG	TIC	HCO3
EC	1											
NO3	0.330	1										
NH4	<b>0.836</b>	0.092	1									
TIN	<b>0.851</b>	<b>0.641</b>	<b>0.824</b>	1								
TDS	<b>0.989</b>	0.251	<b>0.800</b>	<b>0.760</b>	1							
CL	<b>0.928</b>	<b>0.532</b>	<b>0.683</b>	<b>0.829</b>	<b>0.873</b>	1						
K	<b>0.914</b>	0.142	<b>0.735</b>	<b>0.648</b>	<b>0.928</b>	<b>0.812</b>	1					
NA	<b>0.929</b>	<b>0.533</b>	<b>0.684</b>	<b>0.832</b>	<b>0.885</b>	<b>0.988</b>	<b>0.831</b>	1				
CA	<b>0.613</b>	-0.205	0.237	0.066	<b>0.662</b>	<b>0.368</b>	<b>0.607</b>	<b>0.381</b>	1			
MG	<b>0.573</b>	<b>0.399</b>	0.247	<b>0.418</b>	<b>0.625</b>	<b>0.472</b>	<b>0.460</b>	<b>0.458</b>	<b>0.632</b>	1		
TIC	0.119	-0.059	0.202	0.122	0.087	0.113	-0.122	0.084	0.067	-0.023	1	
HCO3	<b>0.841</b>	-0.228	<b>0.757</b>	<b>0.462</b>	<b>0.884</b>	<b>0.578</b>	<b>0.870</b>	<b>0.605</b>	<b>0.758</b>	<b>0.459</b>	0.062	1

Source : INS/EPESS 2012

La distribution spatiale de potassium (K) dans les eaux souterraines est donnée à la Figure 25. Ceci montre que le K augmente à une courte distance, le long de la voie d'écoulement, de la zone d'alimentation vers la zone de décharge. Il est clairement associé à l'habitation dense. La représentation se ressemble aux Carte thématique 2: Conductivité électrique aux points d'eau



**Figure 25:** Distribution spatiale du potassium (K) dans les eaux souterraines et de surface, en mg/l – *Spatial distribution of potassium (K) in groundwater and surface water; in mg/l.*

Les métaux de transition tels que le fer (Fe) et le manganèse (Mn) ainsi que leur rôle dans les processus microbiologique catalysés seront traités dans le chapitre 4.2.5.1 ci-dessous.

## **Conclusion**

La séquence de la concentration du cation métallique dans l'eau souterraine de Yaoundé est le sodium (Na) > potassium (K) > calcium (Ca) > du magnésium (Mg). Le sodium et le potassium sont bien au-dessus de la concentration du fond des eaux souterraines géogénique reflétant ainsi l'influence déterminante de l'utilisation des terres urbaines sur la minéralisation des eaux souterraines. La composition des eaux de surface à la fin de la saison sèche sont différentes de celle des eaux souterraines.

#### 4.2.3.3 Anions

Comme le chlorure ne participe pas normalement dans les réactions microbiologiques et inorganiques, il est considéré comme un élément conservateur, qui peut être utilisé pour tracer le débit massique. Les sources de chlorure dans l'environnement urbain sont: la cendre de bois, les ordures ménagères, les eaux usées domestiques et principalement l'urine. Le chlorure est aussi le produit obtenu à la fin d'une réaction et qui est largement vendu et utilisé comme agent de désinfection dans les ménages à l'instar de l'eau de javel.

Les concentrations de chlorures trouvés dans les eaux souterraines urbaines (Tableau 17) doivent être comparées aux eaux souterraines des autres lieux avec les teneurs en silicate similaire à la roche géologie, au climat, à l'hydrologie, mais aussi aux différentes utilisations des terres. Braun et al. (2005) ont rapporté les valeurs de 0.5 à 1 mg/l de chlorure de différentes stations d'eaux souterraines du petit bassin de Nsimi-Zoétéélé, qui avaient été sélectionnés pour l'absence de toute action anthropiques. La teneur en chlorure dans l'eau de pluie, échantillonné à Zoétéélé (IDAF place n°5) a une concentration beaucoup plus faible avec une moyenne de 0.15 mg/l (Sigha et al., 2003) indiquant ainsi, l'accumulation de la matière végétale, des dépôts secs ou d'autres sources. Cette gamme proposée par Braun et al. (2005) pourrait ainsi représenter aussi des eaux souterraines naturelles de la région de Yaoundé, en l'absence de toute occupation humaine. La concentration moyenne (p50) de sources avec 27 mg/l et des puits peu profonds avec 51 mg/l indique l'impact d'une forte utilisation de l'espace urbain sur la qualité des eaux souterraines à Yaoundé. Dans un environnement tropical hydrologique avec un bilan hydrique positif, une augmentation de la concentration de chlorure par évaporation ne peut avoir un effet saisonnier significatif. La gamme de valeurs pour les puits profonds représentés dans le Tableau 17 montre que ces points d'eau peuvent avoir la même qualité près que celle de l'eau de pluie, mais aussi peut montrer des concentrations extrêmement élevées par rapport aux sources. La pratique courante de la désinfection des puits avec l'hypochlorite ou l'eau de Javel aidera à générer ces concentrations.

**Tableau 17:** Distribution du chlorure dans les échantillons d'eaux souterraines et de surface prélevés en avril 2012 à la fin de la saison sèche, groupés par types de lieux de prélèvement : puits, source, eaux souterraines, eaux superficielles, valeurs en mg/l - *Distribution of chloride (Cl-) in groundwater and surface water sampled April 2012 at the end of dry season grouped by "shallow dug well (Puits)", "spring (Source)", "groundwater (souterrain)" and "surface water (surface)".*

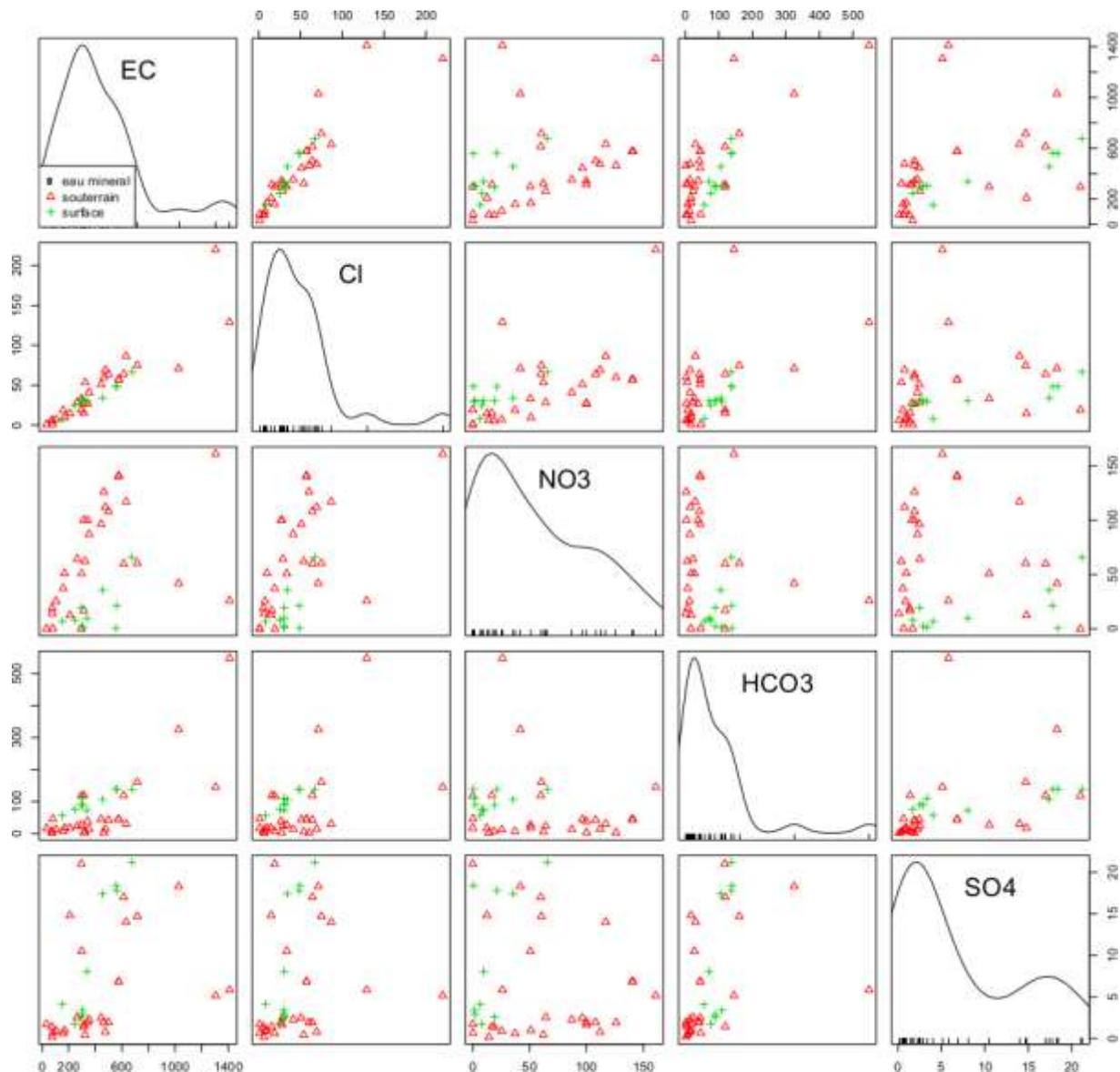
Group	min	p10	p25	p50	p75	p90	max	n	nv	x	sd
Puits	0.8	3.4	16.0	50.9	70.6	112.0	220.0	20	19	52.8	53.3
Source	3.6	4.9	12.5	27.3	45.1	57.6	60.0	13	13	28.7	20.0
souterrain	0.8	3.7	12.1	27.0	58.5	74.4	220.0	37	36	39.8	42.6
surface	8.0	16.4	29.5	30.8	48.1	57.6	66.6	10	10	35.2	15.9

Compte tenu des coefficients de corrélation linéaire décrit dans le Tableau 16 du chapitre sur les cations (ci-dessus), et à la suite du sodium, le chlorure présente une force corrélation décroissante:

$$\text{Na} > \text{EC} > \text{TDS} > \text{TIN} = \text{K} > \text{NH}_4 > \text{HCO}_3 > \text{NO}_3 > \text{Mg} > \text{Ca} \gg \text{TIC}.$$

Cela signifie que l'association de chlorure (Cl) est la plus forte avec la somme de l'azote

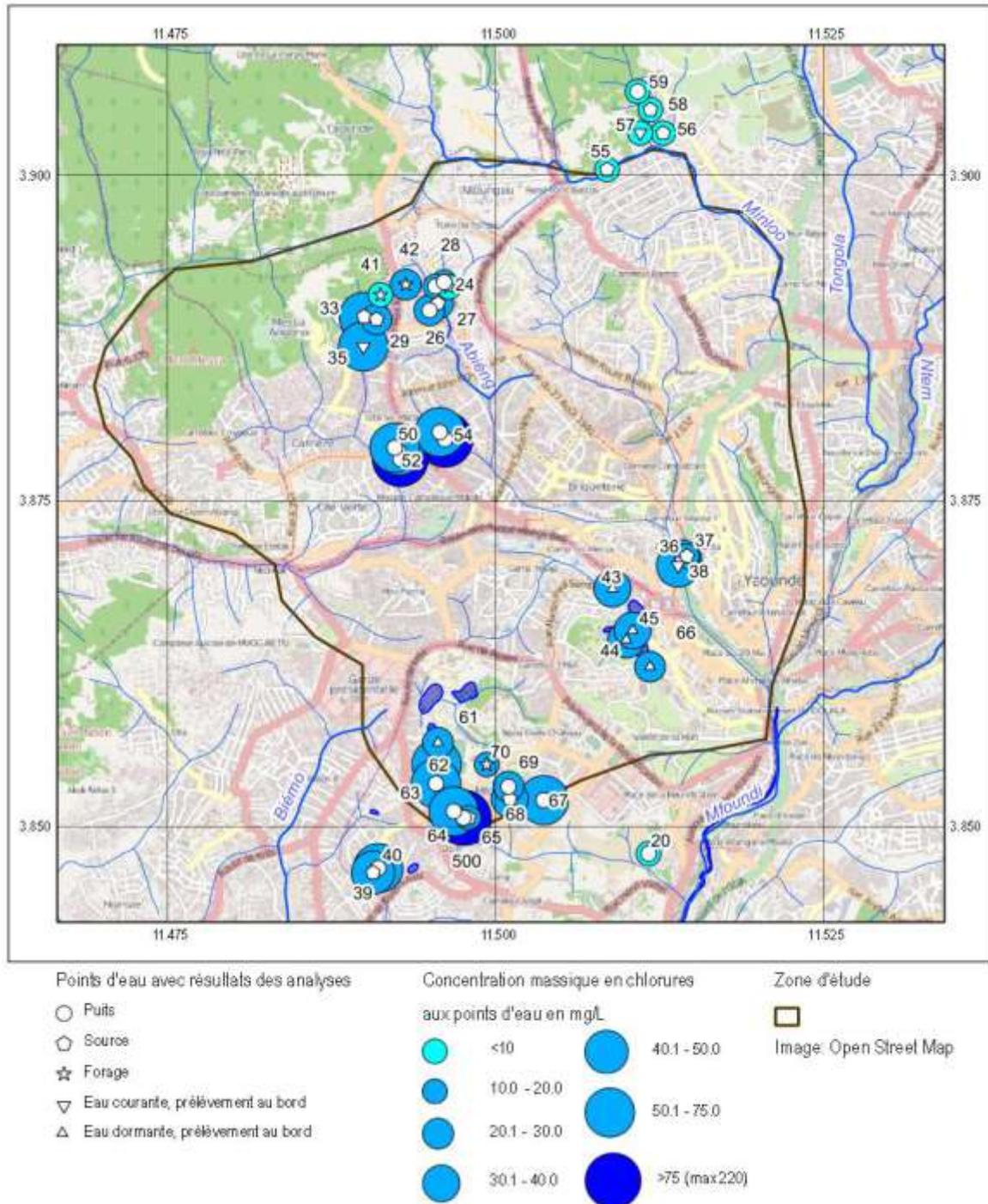
inorganique totale (TIN) et le potassium (K), qui sont des macronutriments importants de deux sur trois (engrais NPK). La distribution spatiale du chlorure est donnée sur la Figure 27. Comme il corrèle bien avec le chlorure de potassium, leurs distributions sont très similaires. Etant donné que le chlorure dans l'eau de pluie est très faible, les TIN, le potassium et les concentrations en  $\text{Cl}^-$  sont clairement le résultat de l'utilisation des terres urbaines. La corrélation générale entre les principaux anions pour les eaux souterraines (triangles rouges verticaux) et de l'eau de surface (des croix vertes) est donnée à la Figure 26. La distribution spatiale du chlorure est donnée sur la Figure 27.



**Figure 26:** Représentation graphique des anions et de la conductivité électrique dans les eaux souterraines et de surface de Yaoundé, valeurs sur les axes en mg/l, CE en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  - *Crossplot of anions and EC in Yaoundé groundwater and surface water; axis values are in mg/l, EC in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .*

Le sulfate est très faible dans les eaux souterraines (Tableau 18). Il est nettement plus élevé dans les eaux de surface à la fin de la saison sèche, mais toujours étonnamment basse. Le sulfate dans l'eau de pluie, échantillonné à Zoétélé (IDAF place n°5) a une faible concentration moyenne de 0.24 mg/l (Sigha et al., 2003). Viers et al. (1997) ont

rapporté une concentration moyenne de décharge d'environ 0.7 mg/l de sulfate dans deux rivières Sanaga (à Ebebda) et Nyong (à Mbalmayo). Viers et *al.* (2000) ont trouvé des concentrations moyenne de décharge de près de 3 mg/l de sulfate dans la rivière Mefou, ce qui indique que Yaoundé est une source importante de sulfate dans un environnement tropicale forestier pauvre en soufre. La Figure 26 indique une corrélation globale positive bien que faible entre le sulfate, le bicarbonate et le chlorure.



**Figure 27:** Distribution spatiale du chlorure dans les eaux souterraines et de surface, en mg/l – *Spatial distribution of chloride (Cl-) in groundwater and surface water; in mg/l.*

Compte tenu des concentrations élevées de sulfate trouvé dans l'urine humaine entre

1800 et 5390 mg/l de sulfate (Putnam, 1971) montrant normalement l'influence de l'urine détectée ci-dessus, le résultat dans le Tableau 18 démontre un mécanisme (efficace) d'élimination du sulfate. Ainsi, la différence visible entre les eaux de surface et les eaux souterraines indique que l'élimination est susceptible d'être plus efficace dans le sous-sol. Une discussion géochimique de ce sujet est au-delà du cadre de ce rapport.

**Tableau 18:** Distribution des sulfates ( $SO_4^{2-}$ ) dans les eaux souterraines et de surface échantillonnées à la fin de la saison sèche, groupés par types de lieux de prélèvement : puits, source, eaux souterraines, eaux superficielles, valeurs en mg/l - *Distribution of sulfate ( $SO_4^{2-}$ ) in groundwater and surface water sampled at the end of dry season grouped by "shallow dug well (Puits)", "spring (Source)", "groundwater (souterrain)" and "surface water (surface)"; values in mg/l.*

Group	min	p10	p25	p50	p75	p90	max	n	nv	x	sd
Puits	0.41	0.51	0.9	1.9	5.6	16.1	18.3	20	19	4.9	6.1
Source	0.10	0.12	1.2	1.9	6.8	11.4	14.8	13	13	3.9	4.5
souterrain	0.10	0.44	0.9	1.9	6.8	15.3	21.0	37	36	5.1	6.1
Surface	1.71	2.12	2.9	6.1	17.8	19.8	21.2	10	10	9.7	8.0

Source : INS/EPESS 2012

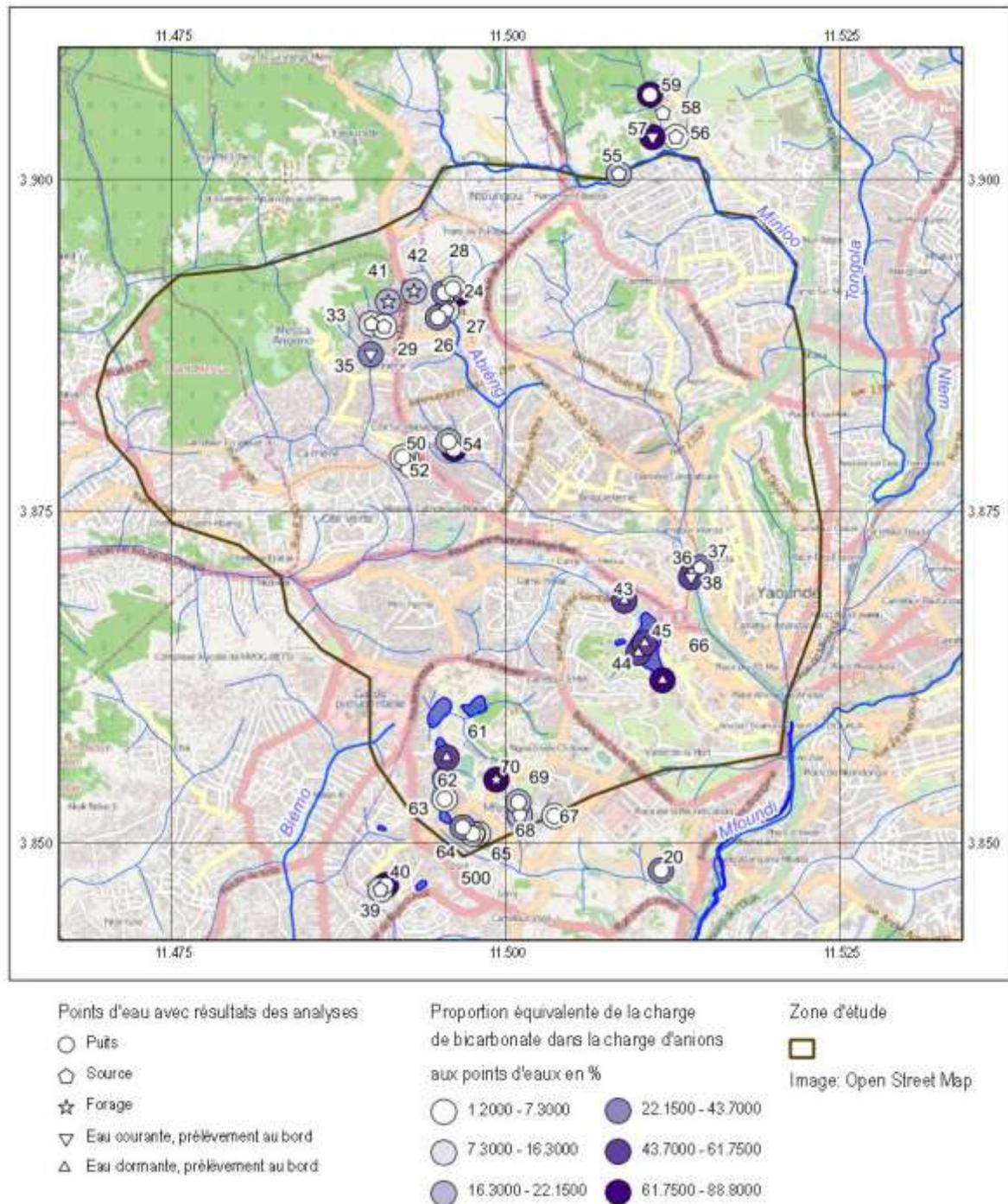
L'alcalinité, souvent égalé avec de l'hydrogénocarbonate ou bicarbonate ( $HCO_3^-$ ) est étroitement associé à la alteration des roches silicates avec  $CO_2$  dans le sous sol. L'alcalinité est liée à presque tous les processus microbiologiques dans les sols et les nappes aquifères dont l'ammonification, la nitrification et la dénitrification décrites dans les chapitres 4.2.2.1 et 4.2.2.1.1. Elle est équivalente à la capacité de neutralisation d'acide (CNA)/capacité de tamponnement du pH et couplé au pH (chapitre 4.2.1) d'une manière non linéaire.

L'eau de pluie est pratiquement exempte d'alcalinité en raison de sa faible concentration en soluté et de son pH faiblement acide. Viers et *al.* (2000) n'ont signalé aucune alcalinité pour les faibles minéralisations dans les rivières du bassin du Nyong, probablement en raison de leur teneur en  $HCO_3^-$ -alcalinité proche de la limite de détection. Sa détermination supplémentaire (Kopacek et *al.* 2000) est entravée par le DCO/COT, les fortes concentrations typiques des eaux de surface proviennent des milieux forestiers tropicaux. Braun et *al.* (2005) a donné de l'CNA pour les eaux souterraines géogénique avec des concentrations situées entre 0.025 meq/L sur les pentes et de 0.58 meq/L dans les marais situés dans les « bas-fonds » du bassin versant de Nsimi Zoétéélé près des zones d'altération.

**Tableau 19:** Distribution spatiale du bicarbonate ( $HCO_3^-$ ) dans les eaux souterraines et de surface échantillonnées à la fin de la saison sèche, groupées par types de lieux de prélèvement : puits, source, eaux souterraines, eaux superficielles, valeurs en mg/l - *Distribution of bicarbonate ( $HCO_3^-$ ) in groundwater and surface water sampled at the end of dry season grouped by "shallow dug well (Puits)", "spring (Source)", "groundwater (souterrain)" and "surface water (surface)"; values in mg/l.*

Group	min	p10	p25	p50	p75	p90	max	n	nv	x	sd
Puit	5.7	9.9	15.2	43	119	259	548	20	19	92	136
Source	1.8	2.3	4.2	14	25	44	45	13	11	17	16
souterrain	1.8	5.5	12.5	27	53	163	548	37	34	67	109
Surface	56.2	64.1	75.5	98	138	139	139	10	10	101	30

Source : INS/EPESS 2012



**Figure 28:** Distribution spatiale du pourcentage équivalent de bicarbonate dans la somme des anions – *Spatial distribution of the equivalent percentage of hydrogencarbonate in the sum of anions.*

En revanche, les concentrations urbaines données dans le Tableau 19 montrent une forte influence de l'utilisation des terres urbaines. Alors que le Tableau 19 montre que le puits dispose d'une alcalinité moyenne (p50) bien inférieure à 1 meq/L (61 mg/l). Ceci est un résultat complémentaire aux valeurs de pH acides dominants trouvés dans les eaux souterraines. La concentration moyenne des eaux souterraines à partir de sources est nettement moins concentrée que l'eau souterraine de puits. Bien que la chloration n'augmente pas l'alcalinité de puits en raison de la nature alcaline de l'eau de Javel. En

comparaison avec les eaux souterraines, les échantillons d'eau de surface sont relativement bien tamponnés en fonction des résultats donnés par Ateba Bessa et al. (2012). L'alcalinité montre une corrélation claire avec la CE dans les eaux de surface (Figure 26). La répartition spatiale de l'alcalinité, indépendamment de la concentration exprimée en pourcentage d'alcalinité de la somme équivalente d'anions est donnée dans la Figure 28. Elle indique que des concentrations plus élevées d'alcalinité peuvent être attendu dans les eaux souterraines des « bas-fonds » et dans les eaux souterraines des forages forés dans la roche fracturée (Tsinga Olinga, Université). Un puits extrêmement contaminés à Madagascar a la plus forte concentration. Le temps de réaction, l'activité microbienne et la présence de matériaux de construction en béton par conséquent alcalins agissent ensemble pour augmenter l'alcalinité de l'eau en milieu urbain, à partir de zéro avec l'eau de pluie.

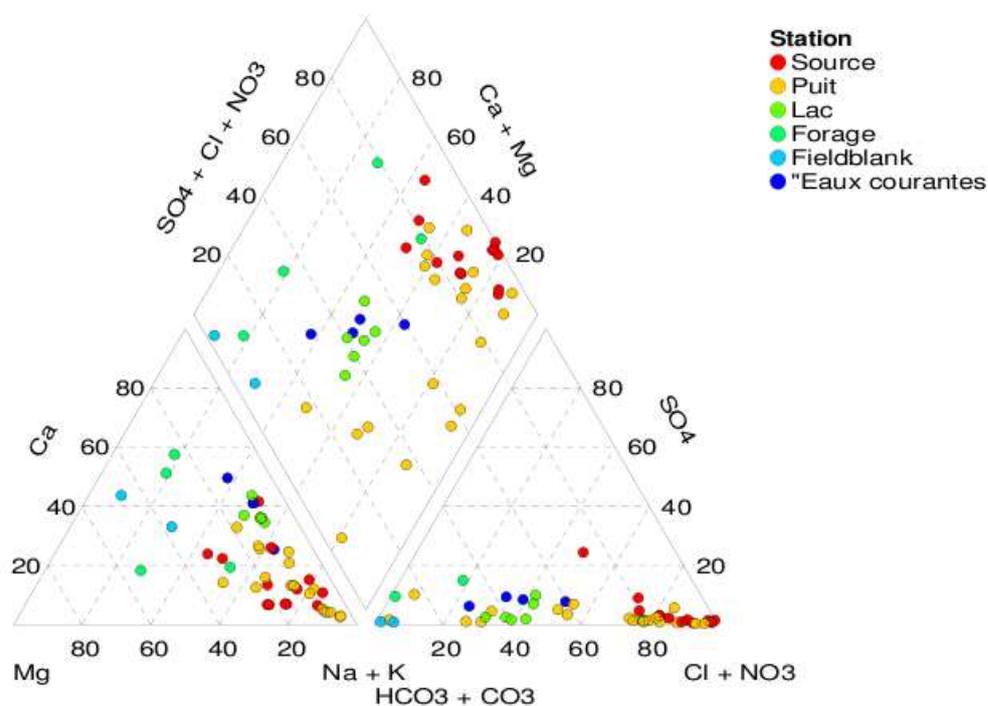
Le fluorure ( $F^-$ ) et le bromure ( $Br^-$ ) sont donnés à titre d'anions halogénures supplémentaires en annexe dans le Tableau 74. Alors que le fluorure peut précipiter dans un environnement riche en Ca, le bromure se comporte généralement comme un traceur conservateur. La moyenne (p50) de concentration de fluorure est bien en deçà de la limite de l'OMS de 1.5 mg/l de fluorure avec 0.08 mg/l pour les puits peu profonds et 0.07 mg/l pour les sources. En surface le fluorure de l'eau a presque le double de la concentration des eaux souterraines. Le dentifrice dans les eaux usées des ménages peut être une source de fluorure. Ce n'est pas observé pour le bromure, où la moyenne (p50) des concentrations autour de 0.06 mg/l est égale pour les eaux souterraines et surface. La DCO/COT (voir chapitre 4.2.2.4) ne contribue pas de manière significative (Kopacek et al. 2000) à des charges anioniques dans les eaux naturelles faiblement acides et de faible minéralisation.

## Conclusion

La séquence de la concentration d'anions dans l'eau souterraine à Yaoundé est la suivante: nitrate ( $NO_3^-$ ) > chlorure ( $Cl^-$ ) > alcalinité ( $HCO_3^-$ ) > sulfate ( $SO_4^{2-}$ ). Le nitrate et le chlorure sont concentrés au-dessus de l'arrière-plan géogénique. Ils proviennent de l'infiltration des toilettes sèches et des fosses septiques. Le bicarbonate augmente avec une forte influence anthropique et un long temps de séjour dans l'aquifère. D'autres anions ne sont présents qu'en état de traces.

#### 4.2.4 Facies des eaux - Classification of water types

Différents types d'eau peuvent être distingués et classés en fonction de leur degré de minéralisation (TDS) et des proportions molaires relatives de leurs cations et anions<sup>25</sup>. Les proportions molaires reflètent les conditions hydrologiques et géochimiques sur leur lieu de formation et pendant le transport, avec écoulement des eaux souterraines sur la voie d'écoulement. Dans le Tableau 75 (annexe, chapitre 11.7) une liste complète de classes d'eau pour tous les échantillons est donnée. Contrairement aux types d'eau dominés par les Ca-HCO<sub>3</sub>- plus courantes dans les milieux tempérés, les cations sont dominés par les sodiums (Na) et l'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Les anions sont dominés par le nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et le chlorure (Cl<sup>-</sup>). Les types d'eau résultant, plus insolites et surtout anthropiques trouvés à Yaoundé sont: « Mg\*-Na-NO<sub>3</sub>\*-HCO<sub>3</sub> », « Na-Ca-NO<sub>3</sub>\*-Cl-HCO<sub>3</sub> », « Na-Mg-Ca-Cl-NO<sub>3</sub> », « Na-NO<sub>3</sub>\*-Cl », « Na\*-Ca-NO<sub>3</sub>-Cl », « Na\*-Cl\*-NO<sub>3</sub> » et même « NH<sub>4</sub>\*-Na-HCO<sub>3</sub>\*-Cl »<sup>26</sup>.



**Figure 29:** Diagramme de Piper d'échantillons d'eau de 2012, avec une échelle de couleurs dépendant du lieu d'échantillonnage - *Piper-diagram of 2012 water samples, colour-table depending on type of water point (station).*

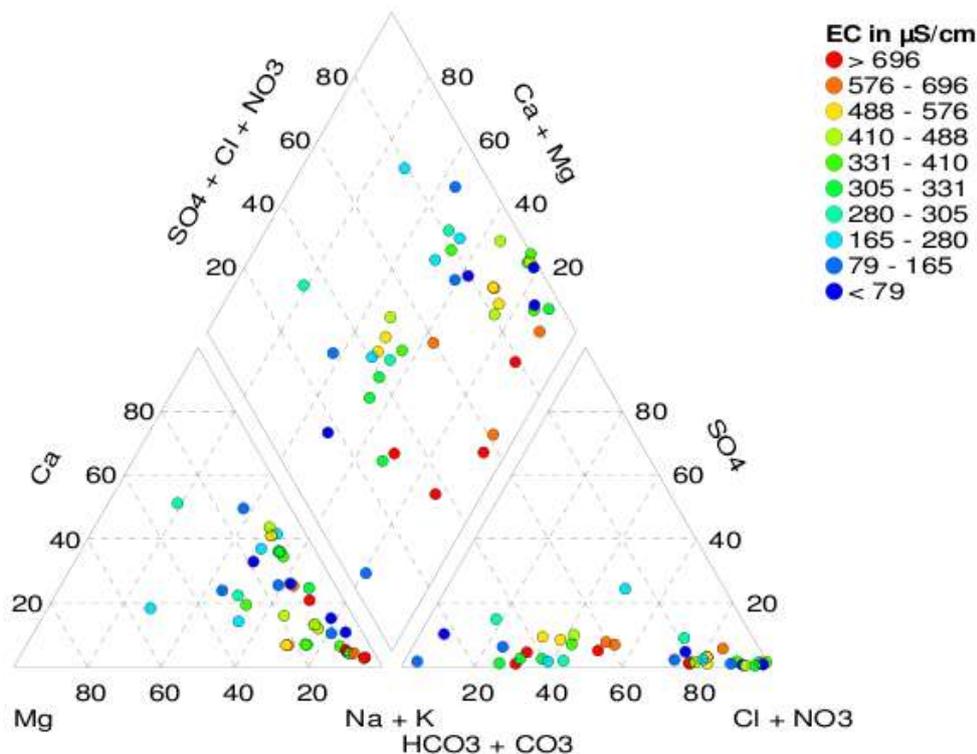
Le diagramme de piper<sup>27</sup> (Piper, 1944) est choisi pour symboliser la relation entre les

<sup>25</sup> Water types following a classification according to the relative significance of cations, followed by anions. Ions denoted with an asterisk have more than 50 eq.% of the charge of cations resp. anions. To be mentioned, an ion has to have more than 20 eq.% of charges.

<sup>26</sup> Classification des types d'échantillons d'eau selon le pourcentage équivalent de cation principal suivi d'anion principal. Seulement les ions  $\geq 20$  eq % sont listés, "\*" correspond aux ions avec plus de 50 eq% en somme de cation et d'anion

<sup>27</sup> **Reading instructions:** To achieve this, a piper-plot is made up of three sub-plots which are meaningfully connected. The lower left ternary sub-plot (triangle) represents the main cations, where the equivalent concentrations of the earth alkaline metal calcium, the equivalent

principaux cations et anions ainsi que les équivalences en ratios. La Figure 29 montre tous les échantillons classés en fonction de leur type de point d'eau. Il devient clair que la composition des puits peu profonds ont une plus large diffusion.

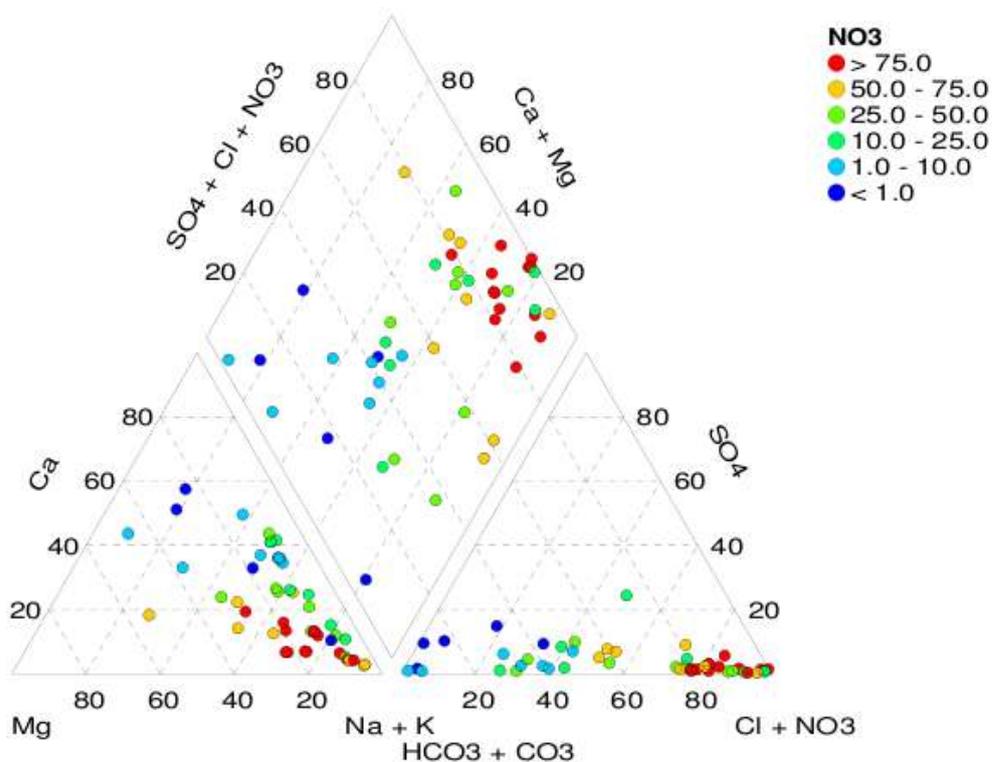


**Figure 30:** Diagramme de Piper d'échantillons d'eau de 2012, avec une échelle de couleurs dépendant des centiles de la conductivité électrique (en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) - *Piper-diagram of 2012 water samples, colour-table depending on percentiles of electrical conductivity (EC) in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .*

Dans le triangle des cations et d'anions il ya une nette tendance vers le coin Na+K et Cl+NO<sub>3</sub> respectivement. Les eaux souterraines (source, puits, forage) peuvent être clairement séparées de l'eau de surface. Dans la Figure 30, la variation de la composition en cations et anions est représentée en fonction de la conductivité électrique. Des concentrations élevées avec la valeur maximale de CE au-dessus de 565  $\mu\text{S}/\text{cm}$  se trouvent dans le coin du triangle de cations Na+K. Il devient clair, que seulement 9

concentrations of the earth alkaline metal magnesium and the equivalent concentrations of the sum sodium and potassium as alkaline metals sum up to 100 %. To read the triangle, it should be noticed that each corner is associated with 100 % charge of either Ca, Mg or Na + K. A pure NaCl solution would thus plot into the lower right corner, with seawater only slightly deviating towards Mg and Ca. Typical Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-type freshwater would plot towards the upper corner Ca. Fertilizer derived input would generate a trend parallel to the Ca- Na + K edge towards the Na + K corner. Manually reading equivalent percentages from the plot requires projecting a lines through the data point parallel to the opposed edge of the corner. The intersection of that line with the scale in the anticlockwise direction gives the equivalent percentage of the data point. The lower right ternary sub-plot (triangle) represents the main anions. The equivalent concentrations of sulfate, hydrogen carbonate + carbonate (often given as alkalinity) and chloride sum up the 100 %. Depending on the importance of nitrate for the sum of anions it may be advisable to include nitrate into the equivalent sum of anions. The rhombus sub-plot summarizes the relationship of alkaline metals to earth alkaline metals (total hardness) and the relationship of carbonate hardness to non hardness anions. Please note that the common borders of the sub-plots have matching scales.

échantillons ont une composition dominante par le Ca. Tous ont des différentes parts de bicarbonate. Il est à noter que dans 6 échantillons l'ammonium a plus de 20 éq.% de la somme des cations.



**Figure 31:** Diagramme de Piper d'échantillons d'eau de 2012, avec une échelle de couleur dépendant de la teneur en nitrates (en mg/l) - *Piper-diagram of 2012 water samples, colour-table depending on classes of nitrate in mg/l.*

Une autre représentation importante est le diagramme de Piper<sup>28</sup> classés selon la concentration en nitrates. Dans la Figure 31 les symboles jaunes et rouges désignent les

<sup>28</sup> La sous parcelle représentée par le triangle inférieur gauche constitue les principaux cations, où les concentrations équivalentes en calcium des métaux alcalino-terreux, les concentrations équivalentes en magnésium des métaux alcalino-terreux et la somme des concentrations équivalentes de sodium et de potassium que les métaux alcalins résumant à 100 %. Pour lire le triangle, il faut remarquer que chaque coin est associé à une charge de 100 %, soit Ca, Mg ou Na+K. Une solution de NaCl pur serait donc tracer dans le coin inférieur droit, en présence de l'eau de mer on a noté une légère déviation vers Mg et Ca. Le type d'eau douce Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> sera tracé vers le coin supérieur Ca. Les entrées des engrais dérivés génèreraient une tendance parallèle au bord de Ca-Na+K vers le coin de Na+K. La lecture manuelle des pourcentages équivalents de la parcelle nécessite une projections des lignes à travers le point de données parallèle au bord opposé du coin. L'intersection de cette ligne avec l'échelle dans le sens contraire des horaires donne le pourcentage équivalent du point de données. La sous-parcelle représentée par le triangle inférieur droit constitue les principaux anions. Les concentrations équivalentes de sulfate, carbonate acide + carbonate (souvent considérés comme alcalinité) et de chlorure résumant les 100 %. Selon l'importance des nitrates pour la somme des anions, il peut être souhaitable d'inclure les nitrates dans la somme d'anions équivalents. La sous parcelle représentée par le losange résume la relation des métaux alcalins, des métaux alcalino-terreux (dureté totale) et la relation entre la dureté carbonatée aux anions qui ne sont pas dure. S'il vous plaît notez que les frontières communes des sous-parcelles ont des échelles correspondant.

concentrations de 50 mg/l au dessus de la limite de l'OMS. Sans tenir compte des deux bouteilles d'eau minérale, la tendance cationique de la composition des eaux souterraines en milieu urbain de Yaoundé est faiblement minéralisée de Ca-Mg vers les eaux fortement minéralisées Na-K-NH<sub>4</sub>. Du côté de l'anion la tendance anionique est de HCO<sub>3</sub> vers l'eau Cl-NO<sub>3</sub>.

## Conclusion

La classification de la composition des types d'eau souterraine en milieu urbain de Yaoundé montre clairement, à l'aide des diagrammes de piper les tendances de développement des différentes compositions. Un certain nombre est rarement observé, les types d'eau entièrement anthropiques sont produits dans l'aquifère latéritique. Ces types d'eau vont des « Na-Ca-NO<sub>3</sub><sup>\*</sup>-Cl-HCO<sub>3</sub> » jusqu'au « NH<sub>4</sub><sup>\*</sup>-Na-HCO<sub>3</sub>-Cl<sup>\*</sup> ».

### 4.2.5 Éléments traces - Trace elements

#### 4.2.5.1 Éléments sensible à l'oxydoréduction et l'aluminium - Redox sensitive elements and aluminium

Généralement les très faibles concentrations de fer dissous (Fe), de manganèse (Mn) et d'aluminium (Al) sont à prévoir dans les eaux de surface et souterraines de Yaoundé. Cela est dû aux propriétés géochimiques des éléments et des conditions d'oxydation qui y sont largement présents. Les latérites riches en fer et oxyde d'aluminium comme tout produit résiduel des conditions tropicales (chapitre 1.5) témoignent de l'immobilité géochimique de ces métaux. Les conditions réductrices peuvent se produire seulement au cas où un surplus de substrat organique est présent, et/ou le transport de l'oxygène est empêché par l'exploitation de l'eau. Les situations typiques à Yaoundé se trouvent dans les zones de « bas-fonds », à proximité des sites d'élimination des déchets (par exemple les déchets organiques de marché) ou associée à des fuites potentielles d'hydrocarbures à partir des stations de gaz, qui peuvent également provoquer des conditions réductrices locale.

**Tableau 20:** Répartition de fer (Fe) dissous dans les eaux souterraines et de surface échantillonnées en avril 2012 à la fin de la saison sèche, groupées par types de lieux de prélèvement : puits, source, eaux souterraines, eaux superficielles, valeurs en mg/l. - Distribution of dissolved iron (Fe) in groundwater and surface water sampled April 2012 at the end of dry season grouped by "shallow dug well (Puits)", "spring (Source)", "groundwater (souterrain)" and "surface water (surface)"; values in mg/l.

Group	min	p10	p25	p50	p75	p90	max	n	nv	x	sd
Puits	0.004	0.006	0.016	0.031	0.366	5.93	13.8	20	19	1.36	3.6
Source	0.003	0.003	0.004	0.011	0.017	0.05	0.2	13	13	0.02	0.04
Souterrain	0.003	0.004	0.008	0.020	0.118	1.38	13.8	37	36	0.8	2.7
Surface	0.077	0.15	0.23	0.31	0.46	0.57	0.6	10	10	0.34	0.16

Source : INS/EPESS 2012

La moyenne (p50) et la gamme des concentrations de fer dissous sont données dans le Tableau 20. Les très faibles concentrations sont généralement observées. Certaines valeurs existantes de Fe sont surprenantes avec les concentrations > 0.5 mg/l. Elles ont été trouvées dans des échantillons d'eaux souterraines provenant des puits peu profonds se trouvant dans les zones de « bas-fonds ». Les sources sont très pauvres en fer. En comparaison aux faibles concentrations moyennes de fer dans l'eau souterraine (en particulier les sources), les teneurs en fer sont élevées dans les eaux de surface. Cela peut être dû à la présence des composés organiques, à une haute activité bactérienne et à la photoréduction du Fe<sup>3+</sup> dans les eaux stagnantes comme le lac municipal. Dans les eaux de surface du Nyong riche en DOC avec 0.17 mg/l, valeurs données par Viers et al. (1997), les concentrations de fer pour le fer dissous sont plutôt biologiques que géogéniques. Viers et al. (2000) ont obtenu les valeurs de 0.58 mg/l pour le cour d'eau de la Mefou qui reçoit de l'eau de drainage venant de la région de Yaoundé.

Un échantillon d'eau souterraine fraîchement prélevé après avoir pompé un puits profond situé dans la grappe d'Ekoudou (point d'eau n°102, Y1 P0, « derrière MINDUH, Bastos ») avec les valeurs de (CE: 81 µS/cm, pH: 5.8, Fe: 13.8 mg/l, à 25.1°C) produit des eaux souterraines de type réduction « \*Fe-\*HCO<sub>3</sub> ». L'eau initialement présente dans le puits (avant le pompage) et utilisée par la population locale avait les faibles valeurs de STD et était pauvre en fer (CE: 33 µS/cm, pH: 5.6, Fe: 0.02 mg/l, à 25.7 °C). Un autre exemple a été trouvé dans le « bas-fonds » situé dans le bassin versant de l'Olezoa (point d'eau n°101, Y2 P01, « derrière l'Ambassade France, Olezoa »), où la stratification physique a été observée dans un puits donc la profondeur totale était de 1.8 m (Figure 11). L'eau de surface oxygénée (CE 106 µS/cm pH: 6.3, Fe : 0.07 mg/l, à 25.8°C) a été en contact avec une eau anoxique (CE : 314 µS/cm, pH : 6.1, Fe : 9.7 mg/l, à 25°C) avec une transition nette à 1.5 m de profondeur. Cela montre que le phénomène de réduction, dans les conditions anaérobies peut être cherché entre les collines dans les vallées (« bas-fonds »), où à la surface est proche de la nappe phréatique.

En regardant les eaux souterraines à partir des quatre forages, partant du point d'eau Y2 F01 « Tsinga Olinga, Bas-fonds » et Y3 forage « Cité universitaire », elles ont des concentrations supérieures à 1 mg/l. Ceci indique la présence des conditions réductrices dans la zone d'altération de l'aquifère des roches métamorphiques fracturées (chapitre 1.5). Une répartition spatiale de la concentration en fer dissous se trouve dans l'annexe 11.1.1.

**Tableau 21:** Répartition de manganèse (Mn) dissous dans les eaux souterraines et de surface échantillonnées en avril 2012, groupées par types de lieux de prélèvement : puits, source, eaux souterraines, eaux de surface, valeurs en mg/l.- *Distribution of dissolved manganese (Mn) in groundwater and surface water sampled April 2012 at the end of dry season grouped by "shallow dug well (Puits)", "spring (Source)", "groundwater (souterrain)" and "surface water (surface)"; values in mg/l.*

Group	min	p10	p25	p50	p75	p90	max	n	nv	x	sd
Puits	0.06	0.09	0.16	0.25	0.9	2.8	5.1	20	19	0.87	1.33
Source	0.04	0.06	0.10	0.51	1.1	1.2	1.3	13	13	0.57	0.50
Souterrain	0.01	0.07	0.10	0.25	0.9	1.5	5.1	37	36	0.68	1.03
Surface	0.01	0.01	0.11	1.01	1.3	1.7	1.7	10	10	0.85	0.64

Source : INS/EPESS 2012

Les concentrations moyennes de manganèse (Mn) sont données dans le Tableau 21. Une différence géochimique se définit entre le fer et le manganèse. Ceci est due à une lente oxydation et précipitation du manganèse. Par conséquent, la mobilité du Mn est généralement plus élevée, bien que sa concentration dans les sols et les nappes phréatiques soit généralement beaucoup plus faible que celle du fer. Dans les eaux souterraines les concentrations les plus élevées sont trouvées dans des sources naturelles. Les concentrations maximales dans les eaux souterraines se trouvent dans la « grappe spatiale de Madagascar ». Les propriétés géochimiques générales semblent se refléter dans les valeurs ci-dessus.

L'aluminium a des propriétés acido-basiques similaires au fer, mais ne subit pas de processus catalysés de réduction bactérienne. Par conséquent, sa mobilité n'est pas fortement couplée à l'oxydation de la matière organique dans le sous-sol. Sa concentration est donnée dans le Tableau 22. Il montre une répartition assez uniforme.

**Tableau 22:** Répartition de l'aluminium (Al) dissous dans les eaux souterraines et de surface échantillonnées en avril 2012 à la fin de la saison sèche, groupées par types de lieux de prélèvement : puits, source, eaux souterraines, eaux de surface, valeurs en mg/l. - *Distribution of "dissolved" aluminium (Al) in groundwater and surface water sampled April 2012 at the end of dry season grouped by "shallow dug well (Puits)", "spring (Source)", "groundwater (souterrain)" and "surface water (surface)"; values in mg/l.*

Group	min	p10	p25	p50	p75	p90	max	n	nv	x	sd
Puits	0.004	0.004	0.011	0.022	0.036	0.059	0.126	20	19	0.029	0.029
Source	0.006	0.009	0.017	0.033	0.055	0.131	0.256	13	13	0.054	0.066
Souterrain	0.004	0.004	0.011	0.024	0.047	0.096	0.256	37	36	0.039	0.050
Surface	0.008	0.010	0.014	0.023	0.033	0.224	0.413	10	10	0.061	0.124

Source : INS/EPESS 2012

Les autres oligo-éléments d'intérêt avec leur répartition sont répertoriés dans le Tableau 74 de l'annexe 11.6, tableaux récapitulatifs des résultats analytiques - Tableaux récapitulatifs des résultats analytiques. Le Baryum (Ba), le borate (BO<sub>2</sub>), le lithium (Li), le nickel (Ni), le strontium (Sr) ont été répertoriés. Le Cobalt (Co), le cuivre (Cu), l'arsenic (As) et le zinc (Zn) ne sont pas déclarés car leurs résultats sont pour la plupart sous la limite de détection de la méthode (ICP-OES) appliquées.

## Conclusion

Bien que la mobilité du fer et du manganèse dans les eaux souterraines de Yaoundé soit généralement faible, conformément à la vigueur des conditions hydrochimiques oxydantes, la preuve de la mobilisation réductrice se trouve dans les zones de « bas-fonds ». Seul un nombre limité d'éléments métalliques et métalloïdes traces a été observé.

## 4.2.6 Isotopes stables de l'eau - Stable isotopes of water

### 4.2.6.1 Importance des isotopes stables - Significance of stable isotopes

L'eau douce est considérée comme une richesse aussi essentielle au développement durable qu'à la vie. Elle possède des dimensions sociales, économiques et environnementales. Les eaux de consommation humaine proviennent généralement soit des eaux de surface, soit des eaux souterraines. L'hydrologie isotopique est devenue un outil indispensable dans les études modernes du cycle de l'eau. L'apport des techniques isotopiques peut être résumé comme suit: la connaissance de l'origine et de l'âge des eaux; la mise en évidence du mélange entre les masses d'eau; la localisation des zones de recharge et de décharge des nappes; l'estimation des vitesses d'écoulement, les taux de recharge et le temps de résidence des eaux dans la nappe. Au Cameroun, les travaux sur l'hydrologie isotopique demeure encore parcellaires. Les recherches ont surtout concerné la région du Nord Cameroun où les ressources en eau se font de plus en plus rares. C'est ainsi que les travaux de Njitchua et al. (1995); Ngounou Ngatcha (2007) et Fanton et al. (2009) ont permis de préciser, grossièrement, les zones d'alimentation des principaux aquifères et les temps de résidence des eaux souterraines. L'utilisation des méthodes isotopiques dans la région du sud Cameroun en générale et dans la ville de Yaoundé en particulier reste très embryonnaire en dehors de quelques travaux effectués par Sigha et al. (2003) et Kuitcha et al. (2012) respectivement dans la zone forestière de Nsimi-Zoétéélé et dans la ville de Yaoundé. La présente étude se distingue par un grand nombre d'analyses isotopiques (oxygène-18, deutérium) sur les eaux de sources, puits, forages, rivières et lacs de la ville de Yaoundé. Ce support analytique assez conséquent contribuerait à une meilleure compréhension du fonctionnement hydrodynamique du système aquifère de Yaoundé.

Les isotopes de oxygene ( $^{18}\text{O}$ ,  $^{16}\text{O}$ ) et de hydrogene ( $^2\text{H}$  ( $\text{D}^{29}$ ),  $\text{H}$ ), more precise their isotopic ratio compared to an international standard which is called « standard mean ocean water » et plus précisément leur rapport isotopique comparé à la norme internationale appelée "moyenne standard des eaux océaniques", sont des marqueurs principaux de la molécule d'eau. Ils sont utilisés en hydrologie, en raison de leur caractère "conservé". Le couple ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$ ) fournit des informations importantes concernant les origines des masses d'eaux, ainsi que l'histoire de leurs mouvements en surface et en profondeur. Dans cette étude, entreprise on se propose de:

- Déterminer l'origine des masses d'eaux aboutissant à la recharge des différents aquifères;
- Comprendre le mécanisme de recharge des nappes.

---

<sup>29</sup> Also abbreviated as "D" for Deuterium

Les résultats des analyses isotopiques obtenus dans les eaux de sources, puits, forage, rivières, lac et eau minérale sont regroupés dans l'annexe 1.1.1.1. Le quant à lui synthétise les résultats obtenus dans les différents points d'eaux. Ainsi, les teneurs moyennes des signatures isotopiques des eaux souterraines provenant des sources et des puits sont très similaires, Cependant celle des quatre puits profonds (forages) est considérablement plus appauvri.

On note dans l'ensemble que les eaux de surface sont plus enrichie en oxygène-18 et en deutérium que les aux eaux souterraines ceci étant due au phénomène d'évaporation.

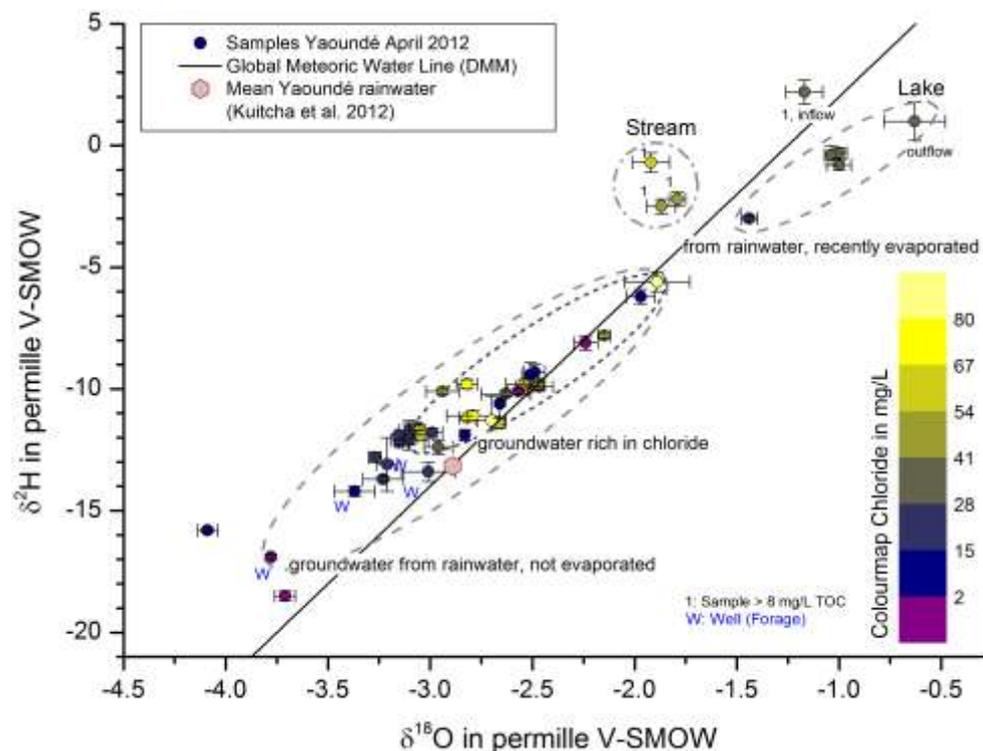
**Tableau 23:** Gamme et moyenne de la signature isotope de l'oxygène-18 et du deutérium à Yaoundé à la fin de la saison sèche 2012 – *Range and mean of stable isotope signature of oxygene and deuterium in Yaounde at the end of dry season 2012.*

	Statistiques	<sup>18</sup> O (‰ Vs-SMOW)	<sup>2</sup> H (‰ Vs-SMOW)	Excès en deuterium (‰ Vs-SMOW)
<b>Sources (n=12)</b>	Min	-3.27	-12.80	9.56
	Max	-1.97	-6.20	20.32
	<b>Moy</b>	<b>-2.81</b>	<b>-10.80</b>	<b>12.59</b>
	Ecart-type	±0.11	±1.27	±0.37
<b>puits (n=19)</b>	Min	-3.23	-13.70	9.40
	Max	-1.89	-5.60	13.10
	<b>Moy</b>	<b>-2.72</b>	<b>-10.59</b>	<b>11.16</b>
	Ecart-type	±0.10	±0.28	±1.07
<b>Forages (n=4)</b>	Min	-3.78	-16.90	10.68
	Max	-3.01	-13.10	13.34
	<b>Moy</b>	<b>-3.34</b>	<b>-14.40</b>	<b>12.34</b>
	Ecart-type	±0.29	±1.91	±0.41
<b>Rivières (n=4)</b>	Min	-2.51	-9.40	10.68
	Max	-1.79	-0.70	14.66
	<b>Moy</b>	<b>-2.02</b>	<b>-3.70</b>	<b>12.48</b>
	Ecart-type	±0.45	±4.88	±1.26
<b>Lacs (n=6)</b>	Min	-1.44	-3.00	6.04
	Max	-0.63	2.20	11.56
	<b>Moy</b>	<b>-1.05</b>	<b>-0.22</b>	<b>8.16</b>
	Ecart-type	±0.19	±3.68	±2.15
<b>Eau minérale (n= 2)</b>	Min	-4.09	-18.50	11.18
	Max	-3.71	-15.80	16.92
	<b>Moy</b>	<b>-3.90</b>	<b>-17.15</b>	<b>14.05</b>
	Ecart-type	±0.27	±1.91	±4.06

Source : INS/EPESS 2012

La Figure 32 ci-dessous montre que les eaux minérales ainsi que les eaux de forages sont très appauvries en oxygène-18 et en chlorure. Cependant certains points d'eaux

appauvries en oxygène-18 présentent les teneurs élevées en chlorure ceci pouvant être lié à la pollution de ces eaux. La majorité d'échantillons d'eaux souterraines provenant des puits et des sources ont des teneurs isotopiques proche de la valeur moyenne de l'eau de pluie de Yaoundé obtenue par Kuitcha et al. (2012). Ceci est confirmé dans les eaux souterraines à la fois riche et pauvre en chlore.



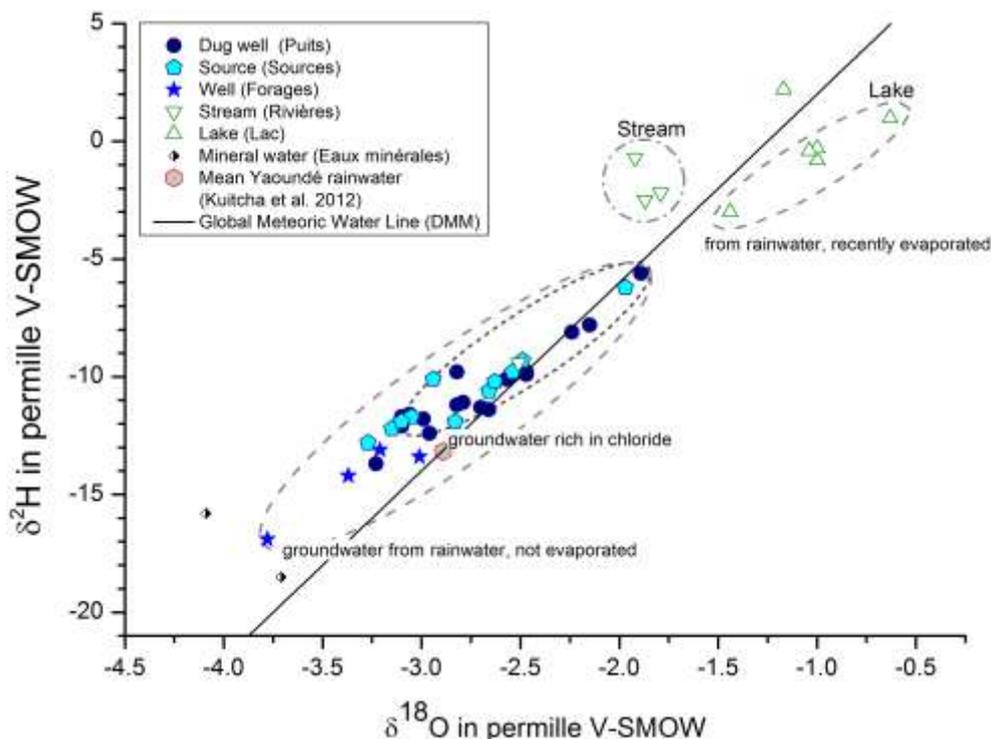
**Figure 32:** Relation entre oxygène stable, deutérium et concentration en chlorure ainsi que la teneur isotopique de la pluie moyenne de Yaoundé et l'écart type. – *Relationship between stable oxygen and deuterium isotope signature and chloride concentration with mean rainwater signature given; error (sd) bars are given.*

#### 4.2.6.2 Origine de l'eau et mode de recharge de la nappe

En considérant l'ensemble des analyses effectuées sur les points d'eau (Tableau 23), on remarque que les eaux de sources présentent un excès en deutérium (d) égal à 12.59 ‰ vs SMOW, les eaux des puits 11.16 ‰ vs SMOW, les eaux des forages 12.34 ‰ vs SMOW, les eaux des rivières 12.48 ‰, les eaux des lacs 8.16 et les eaux minérales 14.06 ‰ vs SMOW. Ce résultat pourrait indiquer une présence d'évaporation d'origine continentale dans les précipitations de la ville de Yaoundé. L'excès en deutérium des eaux du lac est plus élevé que celui des eaux souterraines. Ceci signifie si on suppose une eaux ayant la même origine, les précipitations contribuant à la recharge des eaux souterraines se sont moins évaporées que celles des eaux de lacs. Pour l'Afrique, l'excès en deutérium est voisin de 15 ‰ vs SMOW (Onugba 1990). Ceci traduit selon Yurtsever & Gat (1981) une origine mixte: océanique et continentale de la vapeur atmosphérique. En générale la valeur inférieure à 10 ‰ vs SMOW de l'excès en deutérium traduit généralement une ré-évaporation des gouttes de pluies dans l'atmosphère ou dans la zone non saturée (Craig 1961b).

L'hétérogénéité spatiale des teneurs en isotopes stables observée dans la ville de Yaoundé d'un point d'eau à l'autre pourrait être le témoin, soit de recharges directes dont les cachets isotopiques n'ont pas été «tamponnés» par les processus de diffusion et de mélanges en relation avec des temps de résidence très courts; soit des discontinuités hydrauliques qui ne favorisent pas les processus de mélanges. Le premier cas a été illustré par les hétérogénéités de recharge dans les aquifères du socle cristallin au Niger, notamment dans le Liptako (Ousmane et al. 1983); dans la région de Maradi et Zinder et dans l'Aïr (Joseph et al. 1990) et dans la région du Nord Cameroun (Njitchoua et al. 1995, Ngounou Ngatcha et al. 2007; Fanton et al. 2009).

Sur la Figure 33 les teneurs en isotopes définissent deux types d'eau: (1) Les eaux non évaporées, localisées au dessus ou sur la droite météorique mondiale (DMM). Ce phénomène caractérise les eaux de sources, puits, forages, eaux minérales et eaux de rivières. Ces eaux proviendraient d'une infiltration rapide des eaux météoriques sans aucune modification de leur teneur isotopique; (2) Les eaux légèrement évaporées, situées en dessous de la droite météorique mondiale à l'exemple de deux points d'eau du lac municipal (-0.63 et 1.00 vs SMOW; -1.04 et -0.4 ‰ vs SMOW). L'évaporation pouvant être produite soit avant la recharge lors du passage des pluies dans une atmosphère à faible teneur en eau; soit après la recharge par lessivage des isotopes lourds accumulés pendant la saison sèche dans la zone non saturée (Aranyossy et al. 1989). La valeur de la recharge calculée par Fouépé 2012 par MODFLOW dans la nappe de Yaoundé a donné une valeur de 87 mm/an soit environ 7 % de la pluie moyenne tombée.



**Figure 33:** Relation entre la signature isotopique stable. La droite des eaux météoriques mondiale et le type de point d'eau. - *Relationship between stable isotope signature, Global Meteoric Water Line and type of water point.*

En comparant des teneurs isotopiques en oxygène-18 des eaux souterraines ( $^{18}\text{O} = -2.96 \text{ ‰ Vs-SMOW}$ ) avec celles des pluies moyennes pondérées aux précipitations ( $^{18}\text{O} = -2.47$ ). (Kuitcha et al. 2012) on remarque que ces résultats sont très proches l'un de l'autre (tableau 3). Ceci indiquerait qu'il existe une communication ou une relation directe entre les eaux de pluie et celles de la nappe. Ainsi, les eaux de pluie alimenteraient la nappe phréatique sans subir une évaporation intense. Ceci signifie également que la principale source d'alimentation des eaux souterraines provient des précipitations qui n'ont subi aucun autre processus isotopique. La recharge des eaux souterraines est récente et s'est produite par les précipitations locales actuelles avec absence de modification de la composition isotopique originelle par la reprise évaporatoire. Ce constat avait déjà été fait en Casamance (Sénégal) par Tandia (1990) qui observait une identité de faciès isotopique entre les eaux prélevées successivement avant et après la recharge.

**Tableau 24:** Moyenne de la signature isotopique en oxygène-18 et en deutérium des eaux souterraines de Yaoundé à la fin de la saison sèche par rapport à la pluie moyenne de Yaoundé – *Mean stable isotope signature of oxygen and deuterium in Yaoundé groundwater at the end of dry season 2012 in relation to mean Yaoundé rain water.*

Points d'eau	$^{18}\text{O}$ (‰ vs SMOW)	$^2\text{H}$ (‰ vs SMOW)
Pluie moyenne pondérée (n=18) (Kuitcha et al. 2012)	-2.47	-8.06
Souterraines (sources, puits et forages) (n=35)	-2.96	-11.93

Source : INS/EPESS 2012

Une telle ressemblance isotopique des eaux de la nappe avec celles des pluies pourrait également être expliquée par l'homogénéisation de la température de formation des précipitations actuelles et celles qui ont contribué à la recharge de la nappe.

Comme conclusion, cette étude sur les ressources en eaux de surfaces et souterraines à Yaoundé a pu mettre en évidence le fonctionnement de l'aquifère. L'étude isotopique montre que les eaux de surface (lacs et rivières) sont dans l'ensemble plus enrichies (évaporées) en oxygène-18 et en deutérium que les eaux souterraines (sources, puits et forages). La principale source d'alimentation des eaux souterraines provient des précipitations non évaporées.

#### **4.3 Synthèse sur le degré de contamination - Summary of the degree of contamination**

Le degré de contamination minérale des eaux souterraines mesuré dans les groupes de site de mesures de la zone de test EPESS doivent être synthétisés, en y débattant des paramètres les plus importants dans un contexte plus généralisé. Les composés azotés sont clairement les paramètres les plus urgents dont il faut discuter. La forte influence anthropique et de fortes concentrations a été décrites pour l'azote comme on le voit dans le processus d'augmentation (chapitre 4.2.2.1.1 et suivant) pour les principaux cations (chapitre 4.2.3.2), les anions (chapitre 4.2.3.3) et dans la classification des types d'eau figurent dans le chapitre 4.2.4.

**Tableau 25:** Pourcentage équivalent du nitrate dans la somme des anions - *Equivalent percentage of nitrate in the sum of anions.*

	min	p10	p25	p50	p75	p90	max	n	nv	x	sd
Eau souterraine / Ground water	0.0	1.58	17.8	45.4	50.7	57.8	67.0	35	6	36.8	21.0
Eau de surface / Surface water	0.2	0.65	2.57	7.25	10.6	16.0	18.7	10	1	7.7	6.2

Source : INS/EPESS 2012

Le pourcentage équivalent d'un ion dans la somme équivalente d'anions ou de cations, est respectivement une bonne mesure pour montrer son importance dans la composition de l'eau indépendamment de la concentration.

La proportion d'espèces d'azote oxydé (nitrate) et réduit (ammonium) dans la somme du pourcentage équivalent soit des anions dissous (pour les nitrates), soit des cations (pour l'ammonium) est une bonne dimension pour visualiser l'impact des apports d'azote par l'activité humaine (utilisation urbaine du sol) sur l'hydrochimie des eaux souterraines, indépendamment des concentrations absolues. Ceci est donné pour les nitrates dans le Tableau 25. Le pourcentage moyen (p50) pour les eaux souterraines est de 45.4 éq.% avec une valeur maximale de 67 éq.%. Seuls quelques échantillons sont en dessous de 2 éq.%.

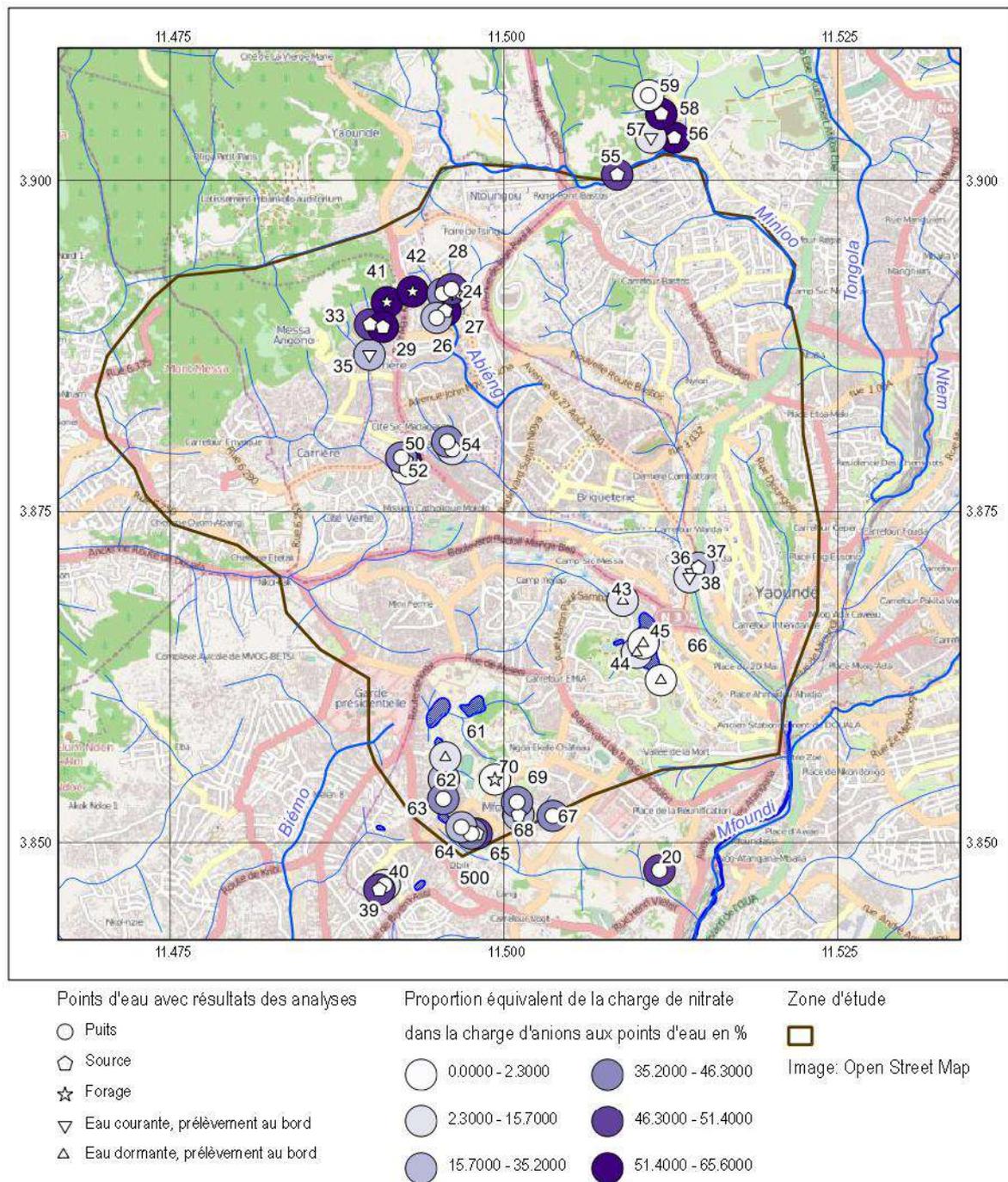
La représentation spatiale est donnée dans la Figure 34. Comparant les deux différentes grappes spatiales « Messa Carrière » et « Ekoudou » (chapitre 3.3.2 page 23 suivant), il devient évident que leurs eaux souterraines montre un pourcentage équivalent d'égalité avec les nitrates bien que leurs concentrations absolues soit très différent de celle d'Ekoudou qui a des valeurs bien en dessous de la limite de l'OMS (WHO, 2004) en raison de son caractère partiellement rural (voir la Figure 19 pour les nitrates et la Figure 117 pour l'étain dans l'annexe 11.5.1). Ceci peut être considéré a titre d'indication que la fonction pour l'entrée de solutés de l'eau souterraine est similaire dans les différents endroits de l'échantillon et qui a été correctement décrits.

**Tableau 26:** Pourcentage équivalent de l'ammonium dans la somme des cations, pas d'ammonium dans l'eau minérale - *Equivalent percentage of ammonium in the sum of cations.*

	min	p10	p25	p50	p75	p90	max	n	nv	x	sd
Eau souterraine / Ground water		0.02	2.6	7.6	18.5	26.7	50.4	36	5	11.5	12.2
Eau de surface / Surface water	0.02	0.029	0.032	0.04	0.67	2.26	5.06	10	1	0.84	1.60

Source : INS/EPESS 2012

Le pourcentage équivalent d'ammonium dans la somme des cations est donné dans le Tableau 26 ci-dessus. Bien que la concentration en ammonium ne soit pas significative dans de l'eau de surface (stagnate), la moyenne (p50) à proportion de 7.6 éq.% dans les eaux souterraines ne peut être négligée, mais il est beaucoup plus faible que celle du nitrate. Pourtant, les taux très élevés allant jusqu'à 50 éq.% peuvent être trouvés dans les points d'eau souterraine. Ils sont situés à proximité des sources d'azote.

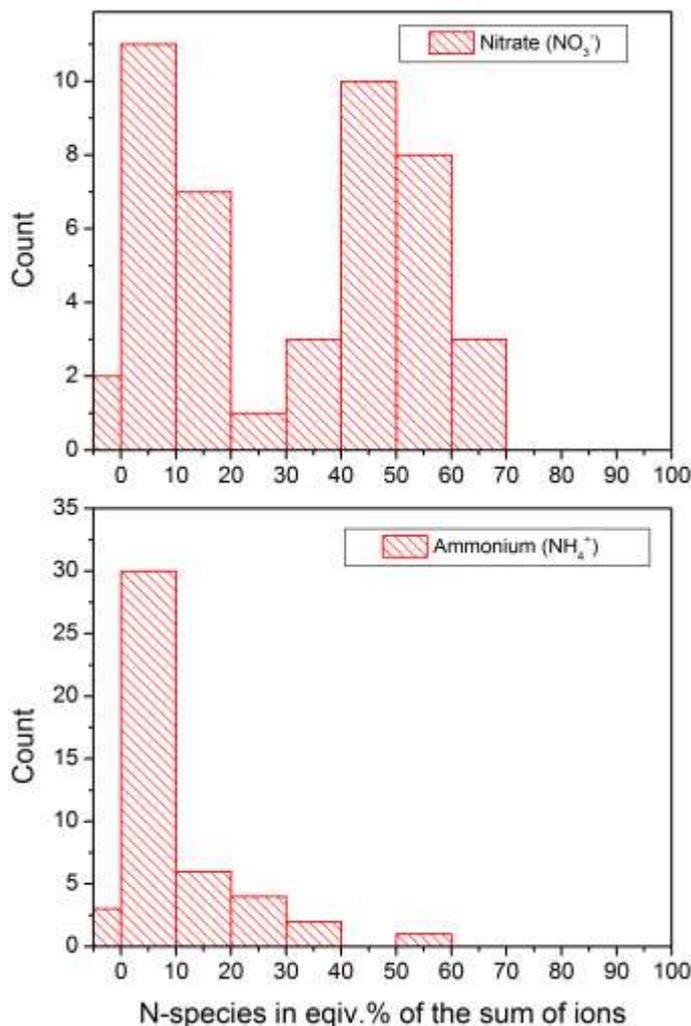


**Figure 34:** Distribution spatiale du pourcentage équivalent de nitrates dans la somme des anions – *Spatial distribution of the equivalent percentage of nitrate in the sum of anions.*

La Figure 35 montre que les nitrates peuvent représenter jusqu'à 67% de tous les anions dans un échantillon d'eau, avec des valeurs habituelles juste sous les 50% des équivalents d'anion total dissous dans les échantillons d'eau. Cela signifie que seul ce qui se situe au-dessus de 50% est constitué des autres anions usuels chlorure, bicarbonate, et sulfate, avec nitrite, fluorure et bromure comptant pour beaucoup moins d'1% éq. Avec la classification hydrochimique de tous les échantillons d'eau donnée au chapitre 5.2.4, cela montre que les nitrates ne peuvent être traités comme une contamination trace dans les eaux souterraines auxquelles on est confrontés, mais qu'il s'agit d'un élément principal.

Le premier maximum en Figure 35 (en haut) avec des concentrations plus faibles contient les 10 échantillons d'eaux de surface qui possèdent tous des concentrations plus faibles.

Figure 35 (en bas) indique que le cation ammonium peut représenter une grosse partie de la somme des cations en solution. Alors que le lac est virtuellement sans ammonium, de par des processus de nitrification efficaces dans la colonne d'eau biologiquement active, les eaux souterraines (en particulier celles des puits superficiels) ont des concentrations en ammonium équivalent élevées.



**Figure 35:** Proportion équivalente de la charge de nitrate anion (en haut) et d'ammonium cation (en bas) dans la charge d'anions respectivement cations de tous les échantillons d'eau (n = 49) prélevés à Yaoundé en avril 2012 - *Equivalent proportion of the charge of the nitrate anion (top) and the ammonium cation (bottom) in the charge of anions respective cations in all water samples (n = 49) taken in Yaoundé in April 2012.*

On notera une caractéristique étrange des échantillons d'eaux souterraines de l'EPESS : la présence simultanée d'ammonium et de nitrates retrouvés dans les puits superficiels et dans des concentrations considérables. C'est une particularité à laquelle on ne s'attendrait pas dans des cas où la nitrification est un processus microbologique marqué dans le sous-sol. On suggèrera trois facteur qui pourraient limiter l'efficacité de la nitrification : premièrement, les eaux souterraines faiblement tamponnées sont généralement situées dans une gamme de pH acide, ce qui ne favorise pas la nitrification.

La première étape de l'oxydation elle-même, est associée à un dégagement acide, qui va favoriser une baisse de pH dans un environnement non tamponné. Deuxièmement, du substrat organique dont la disponibilité dans les sols tropicaux est limitée, est nécessaire à la nitrification. Troisièmement, la proximité de sources d'azote présentes dans de nombreuses fosses d'aisance et points d'eau peut fournir un apport important en ammonium-N le long de chemins de migration où les surface réactives sont faibles.

### **Conclusion**

En plus du degré de minéralisation des eaux souterraines en milieu urbain (exprimée en conductivité électrique (CE )) qui est plus élevé dans l'ordre de grandeur que les eaux souterraines géogéniques sous utilisation des terres « forêt tropicale » trouvé dans le site Nsimi - Zoétéélé, il a été clairement démontré que le contrôle anthropogénique influence sur les eaux souterraines en milieu urbain. Cette influence est exprimée en contrôlant la prédominance des composés d'azote et de sels inorganiques (NaCl, KCl) dans la composition de l'eau souterraine. Tous deux découlant de l'assainissement décentralisé. Le fait que moins de 50 % des échantillons d'eau souterraine sont encore en dessous de la norme de l'OMS - limite de 50 mg/l pour le nitrate, peut être attribuée à la recharge rapide et au temps de renouvellement rapide des eaux souterraines dans la ville. La mauvaise qualité inorganique des eaux souterraines à la fin de la saison sèche 2012 rencontré au cours de cette étude, met en évidence la nécessité de prendre les mesures urgentes pour a) diminuer l'apport d'azote et, b) améliorer l'approvisionnement en eau potable (s'il vous plaît voir les recommandations dans le chapitre 8). La qualité des eaux souterraines inorganique contribue aux risques liés aux dangers microbiologiques décrites et résumées dans le chapitre 4.1.

## **4.4 Conclusion élargie - Extended Summary**

### **Approvisionnement en eau**

- L'approvisionnement en eau acheminée par tuyaux à Yaoundé n'est pas en mesure de desservir tous les ménages qui sont reliés au réseau (déficit de volume important)
- Durant un fonctionnement normal, 12% (9.8%) de la population seulement a recours à de l'eau dont l'origine n'est pas sûre (par exemple des puits ou des sources naturelles non protégés)
- Pendant les coupure d'eau fréquentes (> 4 fois/mois), 40.7% (35.1%) de la population urbaine dépend de cette eau dont l'origine n'est pas sûr

### **Écoulement des eaux usées et assainissement**

- L'écoulement incontrôlé des eaux usées des ménages est de 23.9% (20.4%)
- Les fosses septiques (47%) et les fosses d'aisance (37.3%) sont des modes locaux d'évacuation des eaux usées. Les fosses septiques sont peu, voire pas vidangées (faible fréquence)
- Les charge d'azote provenant des eaux usées contamine les eaux souterraines (pertes en azote gazeux)

### **Qualité des eaux souterraines**

- Plus de 50% de tous les échantillons d'eaux souterraines ont un taux de nitrates supérieur à 50 mg/l et se trouvent ainsi au-dessus de la valeur fixée par la directive l'OMS pour les nitrates
- Un certain nombre de puits et sources sont contaminées par des bactéries d'origine fécale durant la saison sèche
- L'eau potable stockée, si elle n'est pas embouteillée de manière sûre, encourt un risque important d'être contaminée et devient impropre à la consommation durant le stockage, même si la provenance de l'eau est sûre

### **Défi**

- Des efforts à plusieurs niveaux sont nécessaires pour améliorer les conditions de vie (MDG 7), à la fois en ce qui concerne l'approvisionnement en eau, mais aussi du côté de l'évacuation des eaux usées.

## **5 L'effet de la disponibilité des toilettes et de l'eau sur la qualité des eaux souterraines - The effect of the availability of sanitation and water on the quality of shallow groundwater**

### **5.1 CARACTERISTIQUES DES POINTS D'EAU ET DES EAUX USÉES - Characteristics of water points and waste water discharge**

#### **5.1.1 Approvisionnement en eau - Water supply**

#### **5.1.2 Type d'eau consommée suivant la position du ménage - Water types used according to household**

##### **5.1.2.1 Principale source d'approvisionnement en eau potable du ménage - Principal source of drinking water of households**

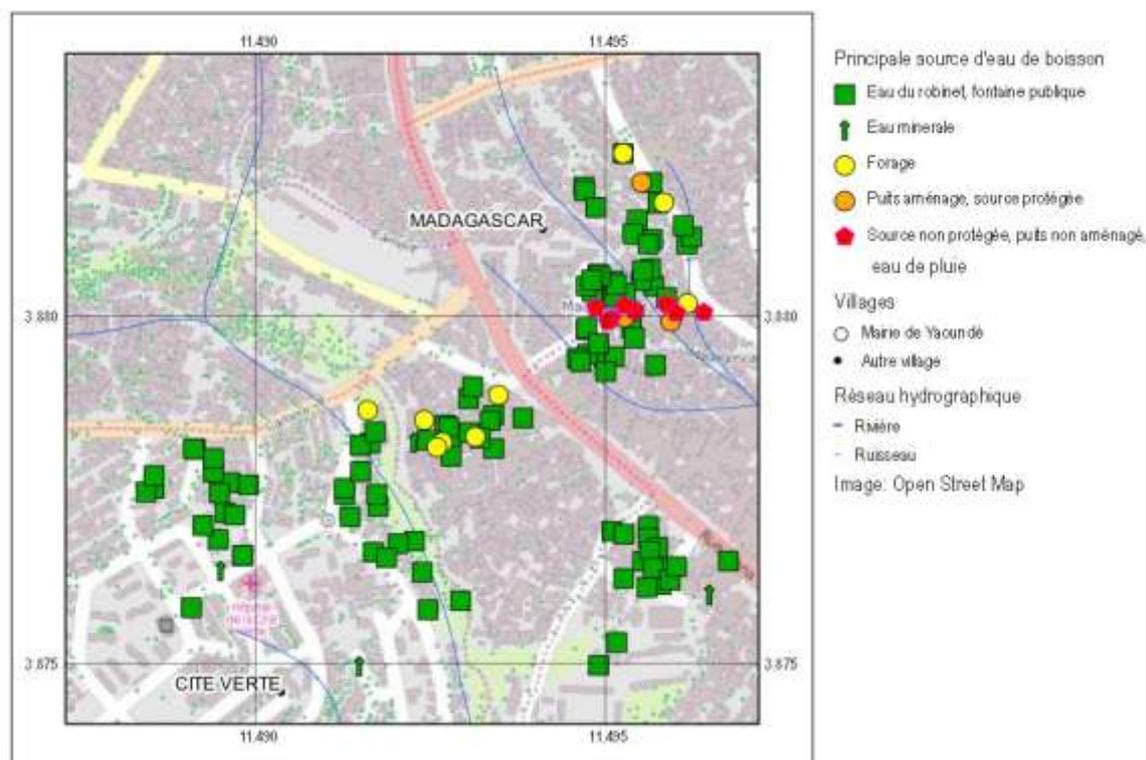
Le traitement de l'eau est indispensable à la santé. En effet, une eau traitée met le consommateur à l'abri des maladies hydriques comme la dysenterie ou le choléra. Dans la ville de Yaoundé, près de 90 % des ménages consomment de l'eau ayant subi un traitement (eau CAMWATER ou eau minérale). A travers cette précaution de potabilité, il apparait donc indéniable que la grande majorité de ces populations a un niveau appréciable de connaissance sur l'exigence de qualité d'une eau. Malheureusement, la perception qu'elle a de la qualité de l'eau contenue dans les bouteilles plastiques ou provenant du robinet et de la fontaine publique n'est pas satisfaisante, comme le révèlent les données qualitatives. En effet, une élève de la classe de troisième résidant au quartier « Mimboman » fait constater que l'eau de CAMWATER déposée pour une longue durée dans une bouteille cause les maux de ventre, car il se forme un dépôt au fond de la bouteille. De ce fait, certains résidents préfèrent utiliser l'eau de pluie plutôt que l'eau de CAMWATER par exemple afin de ne pas s'exposer à la dysenterie amibienne, aux maux d'estomac, à la fièvre typhoïde ou à toute maladie due à l'eau. Pour ce qui est de l'approvisionnement, un classement en eau de boisson ayant subi un traitement et ne l'ayant pas subi a été fait.

L'eau n'ayant subi aucun traitement est consommée par une proportion non négligeable de la population de Yaoundé (environ 10 %). Dans la zone d'étude, cette proportion est de 12.2 % et masque les disparités entre les ménages de Madagascar (16.0 %) et d'Ekoudou (15.0 %) qui sont les plus exposés aux effets de l'eau non traitée. Carte thématique 13: Principale source d'eau de boisson en annexe.

**Tableau 27:** Principale source d'approvisionnement en eau potable du ménage - *Principal drinking water source of households ; in %.*

	Zone d'étude						
	Ekoudou	Ngoa-Ekélé	Messa Carrière	Madagascar	Byem Assi/Obili	Ensemble Zone d'étude	Ensemble Yaoundé
<b>Eau ayant subi un traitement</b>	<b>85.0</b>	<b>89.7</b>	<b>88.5</b>	<b>84.0</b>	<b>89.7</b>	<b>87.8</b>	<b>90.2</b>
Eau de robinet	75.0	70.4	58.3	64.9	74.1	67.7	72.8
Fontaine publique	10.0	16.7	28.1	16.0	10.3	17.4	14.3
Eau minérale		2.6	2.1	3.1	5.2	2.7	3.2
<b>Eau n'ayant subi aucun traitement</b>	<b>15.0</b>	<b>10.3</b>	<b>11.5</b>	<b>16.0</b>	<b>10.3</b>	<b>12.2</b>	<b>9.8</b>
Puits aménagé			1.0			0.2	0.2
Puits non aménagé		0.9	1.0			0.5	0.4
Forage	5.0	6.9	2.1	6.9	1.7	5.4	3.2
Source protégée	5.0	2.1	3.1	3.1	5.2	3.0	3.8
Source non protégée	5.0	.4	4.2	6.1	1.7	2.9	2.2
Autre					1.7	0.2	0.1
<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>
<b>Effectif</b>	<b>40</b>	<b>233</b>	<b>96</b>	<b>131</b>	<b>58</b>	<b>558</b>	<b>1136</b>

Source : INS/EPESS 2012



**Figure 36:** Principale source d'eau potable - *Principal source of drinking water – Madagascar.*

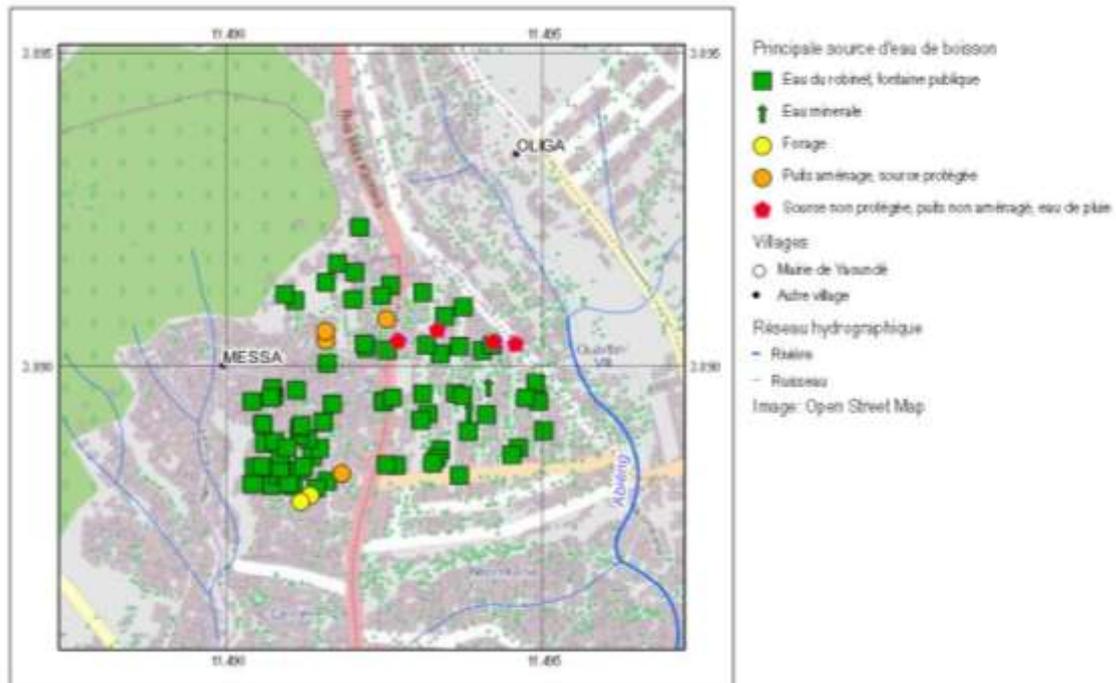


Figure 37: Principale source d'eau potable - *Principal source of drinking water – Messa Carrière.*

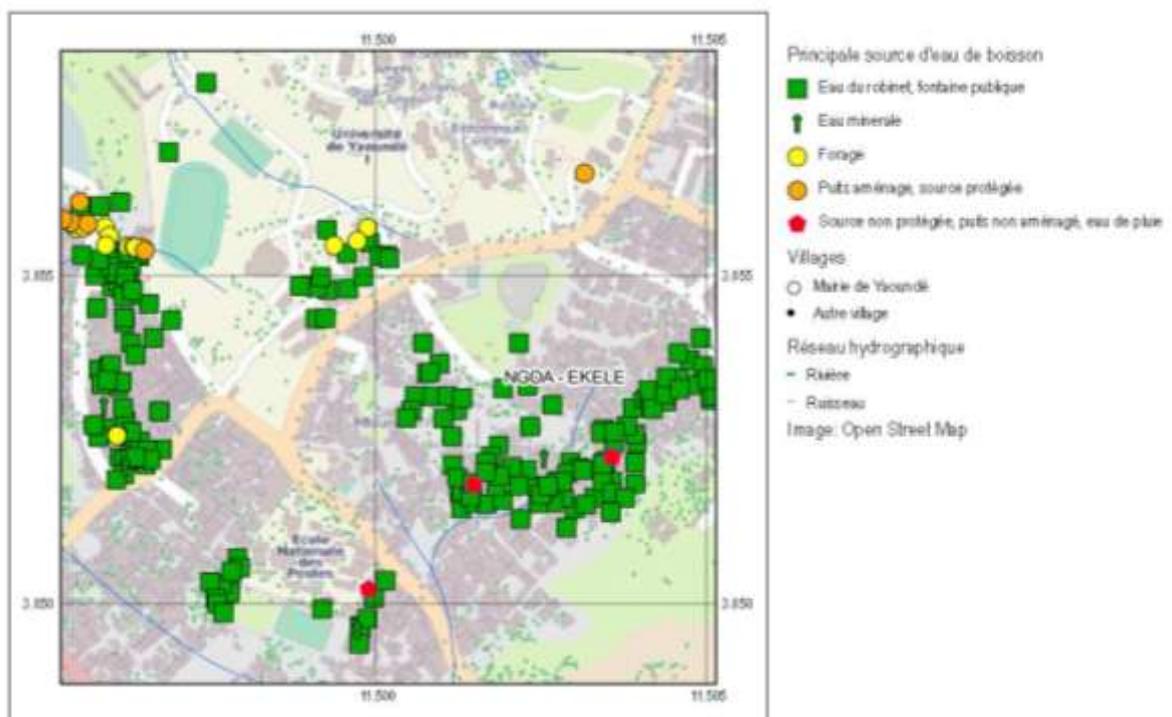


Figure 38: Principale source d'eau potable - *Principal source of drinking water – Ngoa-Ekéle.*

### 5.1.2.2 Source alternative d'approvisionnement en eau potable du ménage en cas de pénurie - *Secondary source of drinking water of households*

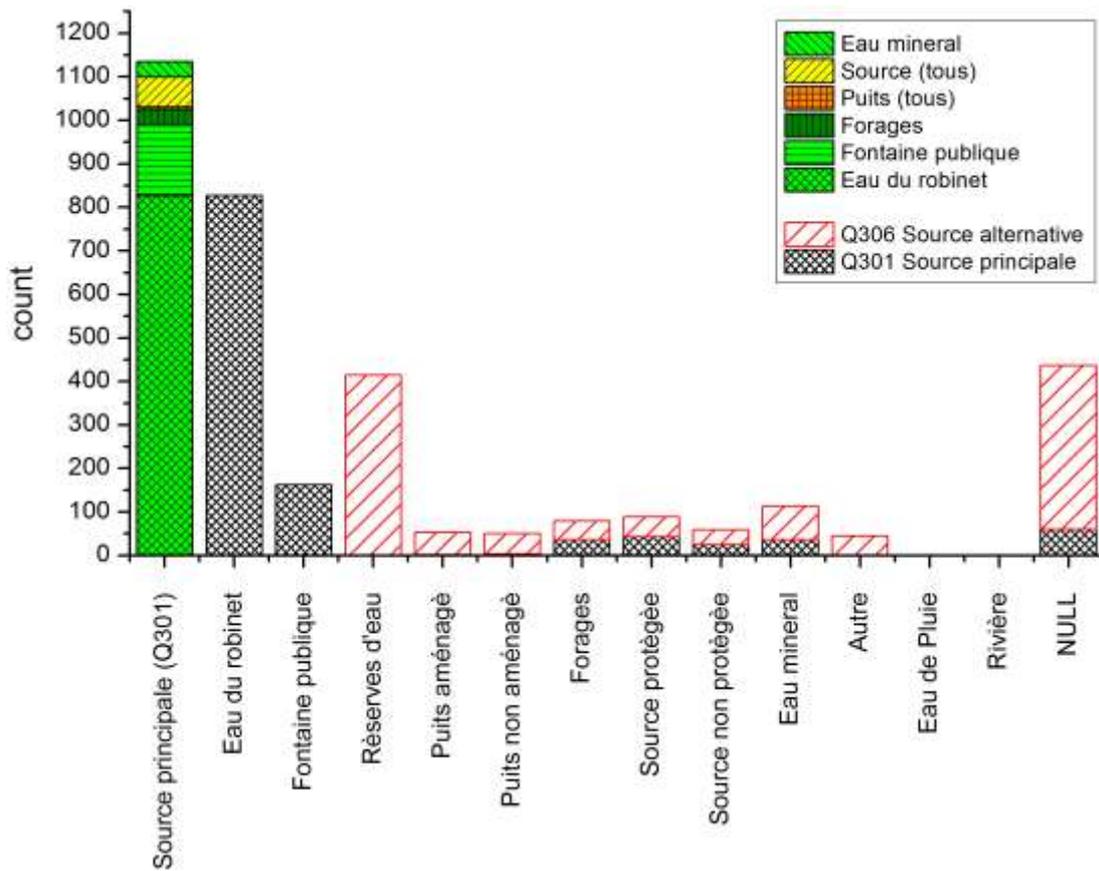
Le recours aux sources alternatives d'eau de boisson se justifie par de nombreuses coupures d'eau observées par les ménages (chapitre 5.1.3.2 ). La plupart des ménages

connait en moyenne au moins 5 coupures d'eau par mois. Pour juguler ces pénuries d'eau, les ménages font recours soit aux réserves d'eau (54.7 %), soit à l'eau minérale (10.2 %), aux forage (5.7 %) ou à d'autres sources d'eau jugées non potables telles que les sources (10.6 %) et les puits (12.8 %). Ces ménages disposent de l'eau courante, mais du fait des coupures régulières, s'approvisionnent à des sources d'eau non traitées et sont exposés au même titre que ceux n'ayant pas accès à l'eau potable, aux risques de maladies hydriques. En effet, les études conduites par Obuobie et al. (2006), Rutkowski et al.(2007), et Van Der Hoek et al. (2005), ont montré que la recrudescence des maladies hydriques est corrélée à la mauvaise qualité de l'eau. Carte thématique 14: Source alternative d'approvisionnement en eau potable en annexe.

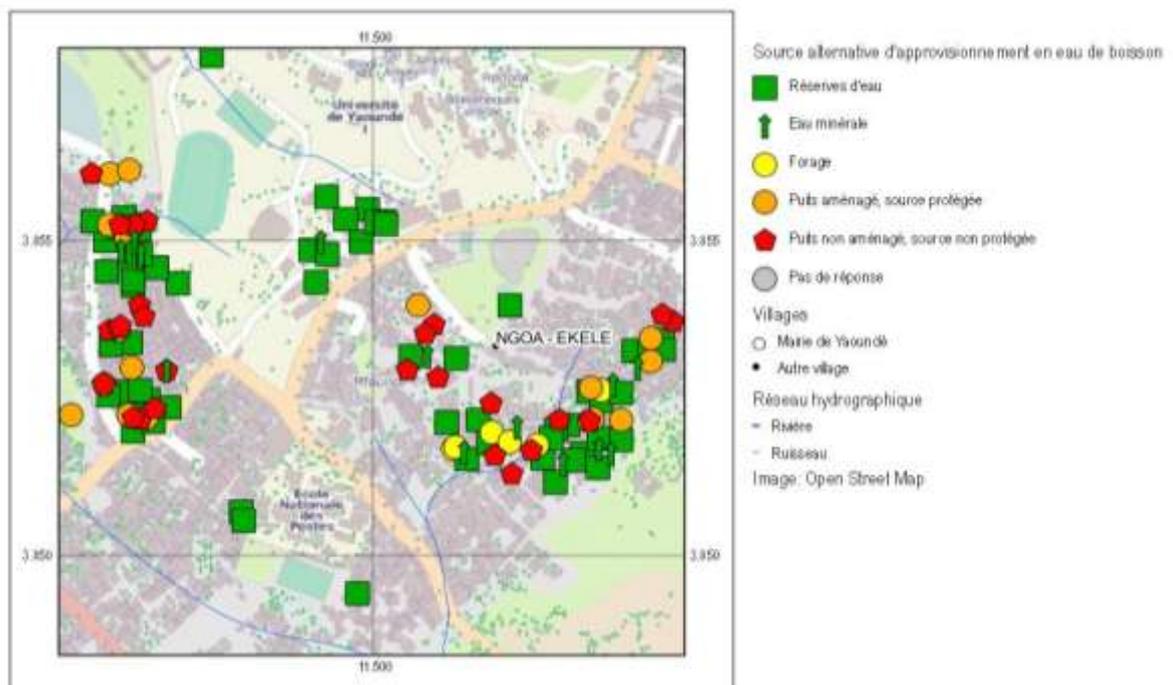
**Tableau 28:** Source alternative d'approvisionnement en eau potable du ménage en cas de pénurie (en %) - *Secondary sources of drinking water ; in %.*

	Zone d'étude					Ensemble zone d'étude	Ensemble Yaoundé
	Ekoudou	Ngoa-Ekélé	Messa	Madagascar	Byem Assi/Obili		
<b>Eau ayant subit un traitement</b>	<b>50.0</b>	<b>57.3</b>	<b>52.8</b>	<b>69.9</b>	<b>59.5</b>	<b>59.3</b>	<b>64.9</b>
Réserve d'eau	35.7	46.9	47.2	60.2	51.4	49.7	54.7
Eau minérale	14.3	10.5	5.7	9.6	8.1	9.6	10.2
<b>Eau n'ayant subit un traitement</b>	<b>50.0</b>	<b>42.7</b>	<b>47.2</b>	<b>30.1</b>	<b>40.5</b>	<b>40.7</b>	<b>35.1</b>
Puits aménagé	10.7	10.5	13.2	8.4		9.3	6.7
Puits non aménagé	7.1	12.6	11.3	1.2	10.8	9.0	6.1
Forage	3.6	4.9	3.8	9.6	5.4	5.8	5.7
Source protégée	21.4	2.8	1.9	2.4	10.8	4.9	6.1
Source non protégée	3.6	5.6	5.7	2.4	8.1	4.9	4.5
Eau de pluie							.1
Autre	3.6	6.3	11.3	6.0	5.4	6.7	5.9
<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>
<b>Effectif</b>	<b>28</b>	<b>143</b>	<b>53</b>	<b>83</b>	<b>37</b>	<b>344</b>	<b>758</b>

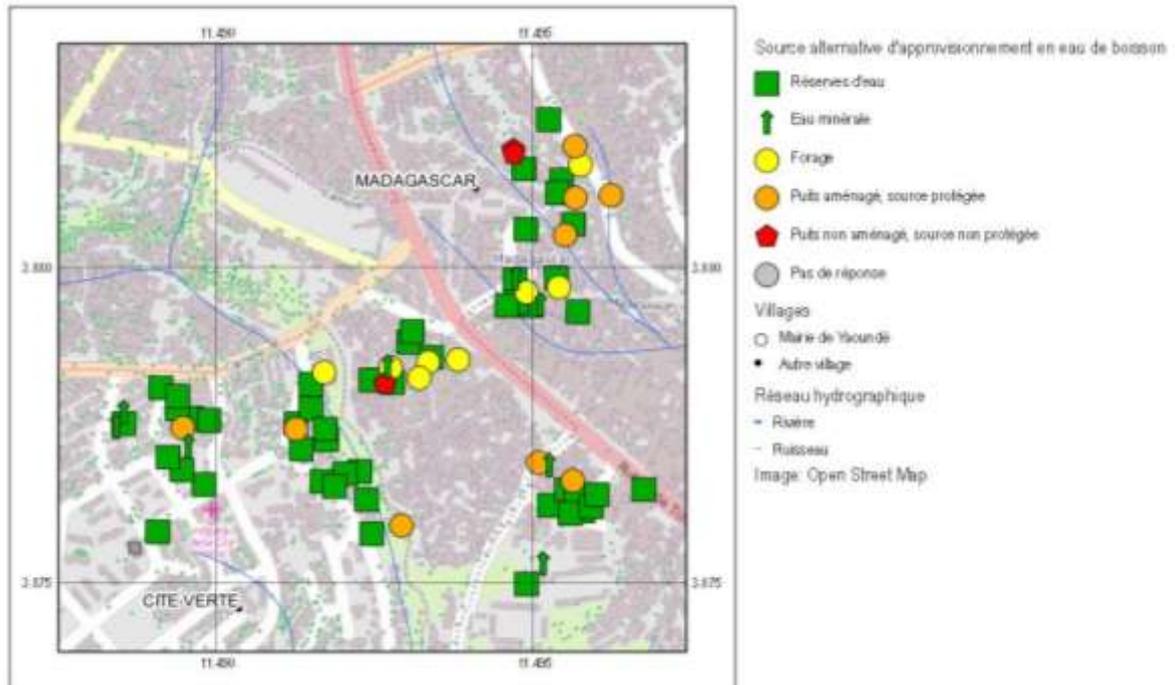
Source : INS/EPESS 2012



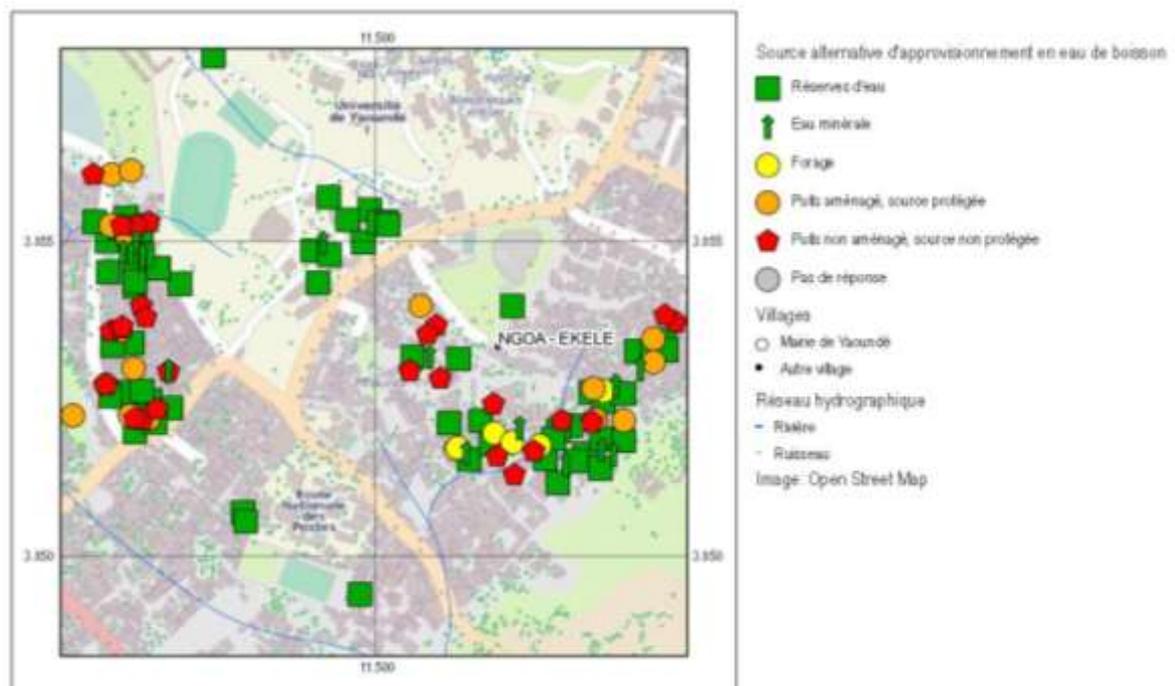
**Figure 39:** Modalités des sources d'eau de boisson principale et alternative des ménages de la ville de Yaoundé - *Modalities of primary and secondary drinking water sources of households in Yaoundé.*



**Figure 40:** Source alternative d'approvisionnement en eau potable - *Secondary sources of drinking water – Ngoa-Ekéle.*



**Figure 41:** Source alternative d'approvisionnement en eau potable - *Secondary sources of drinking water – Madagascar.*

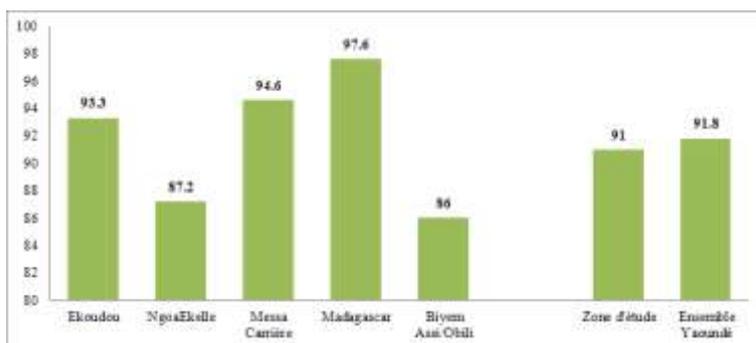


**Figure 42:** Source alternative d'approvisionnement en eau potable - *Secondary sources of drinking water – Ngoa Ekélé.*

### 5.1.3 Sûreté de l'alimentation en eau - Security of water supply

#### 5.1.3.1 Ménages ayant connu des pénuries ou des coupures d'eau intermittentes - Presence of watercuts

Depuis près de deux ans, le problème de coupures d'eau intermittentes est récurrent à Yaoundé. Il touche pratiquement 92 % des ménages. La situation est plus prononcée à Madagascar où 97.6 % des ménages connaissent des coupures d'eau intermittentes. A travers des réserves d'eau constituées ou la localisation dans les bas-fonds de la ville, certains ménages mitigent l'effet du manque d'eau.



**Figure 43:** Proportion des ménages ayant connu des pénuries ou des coupures d'eau intermittentes - *Proportion of households with reported water cuts; in %.*

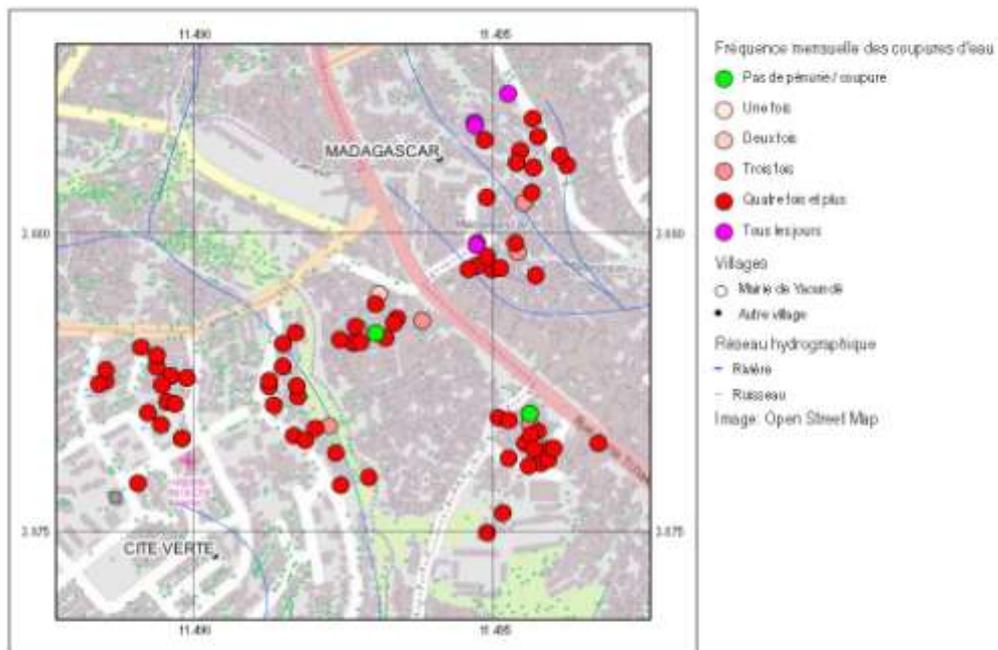
#### 5.1.3.2 Fréquence mensuelle des coupures d'eau - Frequency of watercuts

Les fréquences mensuelles de coupures d'eau peuvent servir à mesurer l'intensité de la privation que subissent les ménages, et les risques sanitaires qui en découlent. Les installations sanitaires modernes sont mal entretenues pendant ces périodes de coupure, exposant ainsi les populations aux risques de maladies diverses. D'après le tableau ci-dessous, 69.0 % des ménages de Yaoundé subissent au moins quatre fois par mois une coupure d'eau. Cette réalité est plus prononcée dans la zone de Madagascar, où 91.5 % des ménages sont concernés.

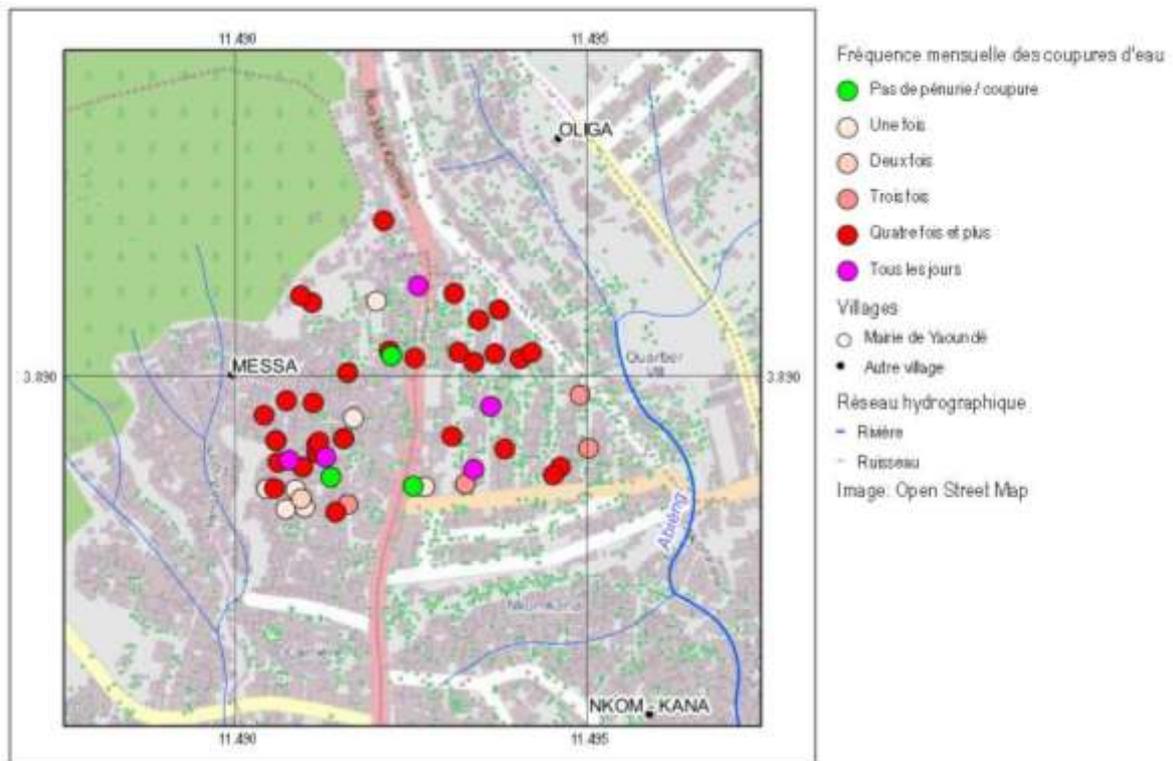
**Tableau 29:** Fréquence mensuelle des coupures d'eau (en %) - *Frequency of watercuts; in %.*

	Zone d'étude					Total
	Ekoudou	Ngoa-Ekélé	Messa-Carrière	Madagascar	Byem Assi/Obili	
Pas de pénurie /coupures	30.0	40.2	46.5	40.3	38.3	40.4
Tous les jours	5.0	11.7	5.1	2.9	1.7	6.9
Une fois	2.5	5.4	7.1		5.0	4.2
Deux fois	2.5	5.9	1.0	1.4	3.3	3.5
Trois fois	7.5	5.9	4.0	3.6	11.7	5.7
Quatre fois et plus	52.5	31.0	36.4	51.8	40.0	39.3
<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>

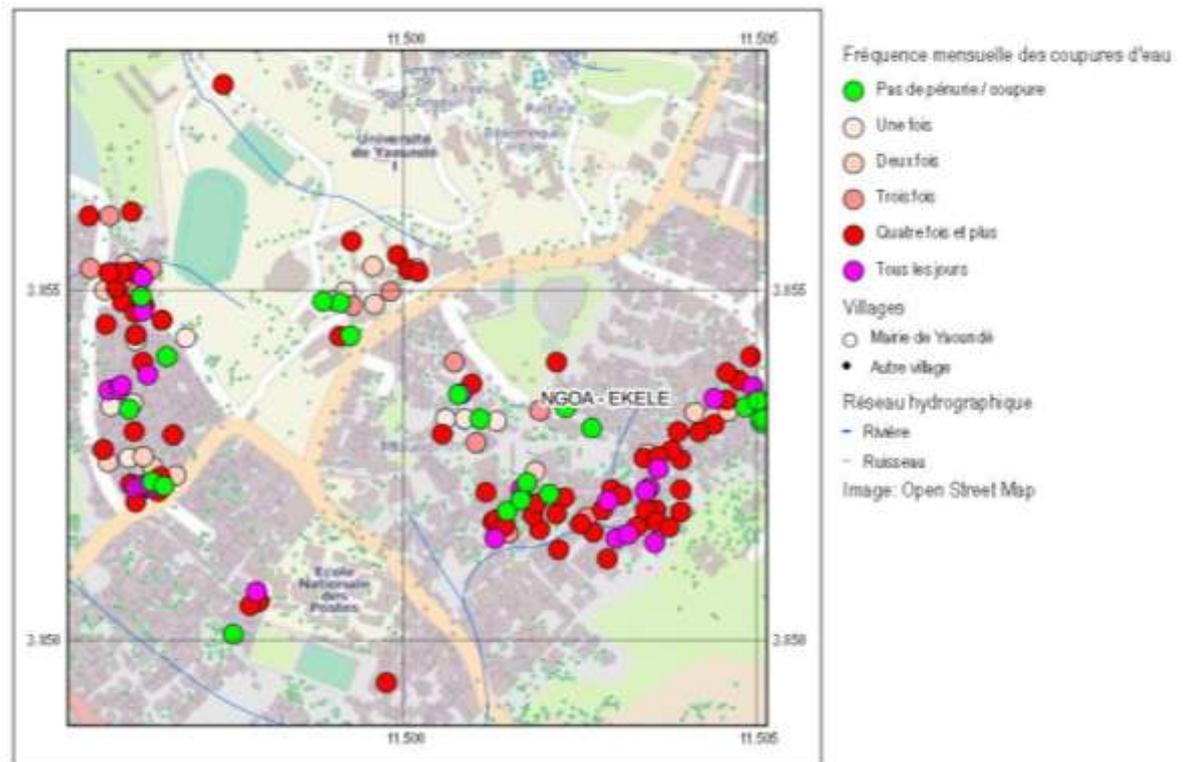
Source : INS/EPESS 2012



**Figure 44:** Fréquence mensuelles des coupures d'eau - *Frequency of monthly watercuts – Madagascar 1 / 10 000.*



**Figure 45:** Fréquence mensuelles des coupures d'eau - *Frequency of monthly watercuts – Messa Carrière 1 / 10 000.*



**Figure 46:** Fréquence mensuelle des coupures d'eau - *Frequency of watercuts – Ngoa-Ekéle 1 / 10 000.*

La situation grave de l'approvisionnement en eau sur place est illustrée par la Figure 47, stat\_id 193 in Yaoundé April 2012, à la fin de la saison sèche. Figure 47, où un forage local d'approvisionnement en eau a été creusé sur les versants de la colline de Messa. Des enfants font la queue avec leurs jerricans, seaux, bassines, et autres conteneurs à eau, et attendent que la chaîne soit ôtée pour les remplir et approvisionner en eau leur foyer, suite à une coupure. Durant l'inspection, le 2 avril 2012, le forage a été ouvert et cartographié avec un EC de 118  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et un pH de 5.4. La situation a été qualifiée de la manière suivante: « ALIMENTE LES POPULATION RIVERAINE EN EAU POTABLE, SITUE A PROXIMITE D'UN GARAGE ET D'UNE LAVERIE AUTOMOBILE ET 25M d'une rivière. ». Cette description incarne parfaitement les réels dangers pour la qualité des eaux souterraines à ce point d'eau particulier, tels que **a)** infiltration possible d'eaux superficielles contaminées venant du ruisseau adjacent dans l'aquifère, ou encore **b)** l'utilisation inconvenante d'eau de surface près d'un puits d'approvisionnement sans aucune zone ou périmètre de protection des eaux souterraines. Le ruisseau adjacent (stat\_id 192) était doté d'un EC de 584  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et d'un pH de 7.4, ce qui y montre l'impact important des eaux usées. Carte thématique 20: Fréquence mensuelle des coupures d'eau en annexe.



**Figure 47:** Enfants faisant la queue à un forage manuel local à Messa-Carrière sur le point d'ouvrir à la production d'eau souterraine, stat\_id 193 à Yaoundé en avril 2012, à la fin de la saison sèche – *Children queing for a local hand-equipped well (forage) at Messa-Carrière to be opened for manual production of groundwater, stat\_id 193 in Yaoundé April 2012, at the end of dry season.*

### **5.1.3.3 Disponibilité d'une source ou d'un puits près de la concession - Availability of a local groundwater point as secondary drinking water source**

La disponibilité d'une source ou d'un puits près de la concession du ménage accroît la capacité de ce dernier à répondre à ses besoins en eau ou à suppléer au problème de multiples coupures d'eau dans la ville. L'enquête EPESS permet de constater que près de 35.9 % des ménages disposent d'un puits tandis que 5.6 % sont situés près d'une source, du fait que l'occurrence de sources est étroitement liée à la situation géologique et à la pente

**Tableau 30:** Disponibilité d'une source ou d'un puits près de la concession (en %) - *Availability of urban groundwater as a secondary drinking water source; in %.*

	Zone d'étude					Zone d'étude	Ensemble Yaoundé
	Ekoudou	NgoaEkélé	Messa	Madagascar	Byem Assi/Obili		
Un puits	47.5	36.9	53.1	42.7	20.7	40.1	35.9
Une source	20.0	2.1	3.1	0.8	1.7	3.2	5.6
Rien	32.5	60.9	43.8	56.5	77.6	56.6	58.5
<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>
<b>Effectif</b>	<b>40</b>	<b>233</b>	<b>96</b>	<b>131</b>	<b>58</b>	<b>558</b>	<b>1136</b>

Source : INS/EPESS 2012

### 5.1.3.4 Puits/source aménagé - State of the local groundwater point

**Tableau 31:** Puits/source aménagé (en %) – *State of equipment of the local groundwater point; in %.*

	Zone d'étude					Ensemble Zone d'étude	Ensemble Yaoundé
	Ekoudou	Ngoa-Ekélé	Messa Carrière	Madagascar	Biyem Assi/Obili		
Puits/source aménagé	65.4	35.2	61.1	33.3	33.3	43.8	46.6
Puits/source non aménagé	34.6	64.8	38.9	66.7	66.7	56.3	53.4
<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>
<b>Effectif</b>	<b>26</b>	<b>91</b>	<b>54</b>	<b>57</b>	<b>12</b>	<b>240</b>	<b>468</b>

Source : INS/EPESS 2012

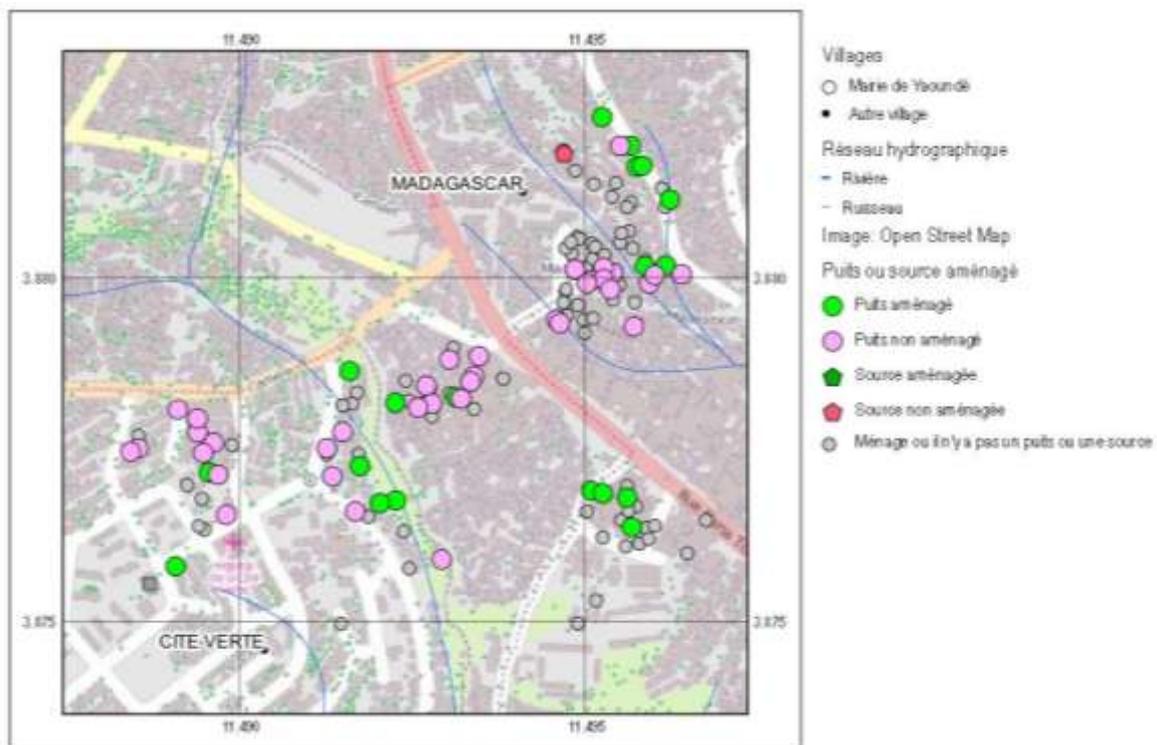


**Figure 48:** (à gauche) puits modérément modifié à Madagascar et (à droite) source aménagée et entretenue (puits phréatique) dans la communauté de l'Ekoudou – *(left) moderately amended dug well at Madagascar (puits) and (right) amended and well kept spring (or phreatic well) in the Ekoudou spatial cluster.*

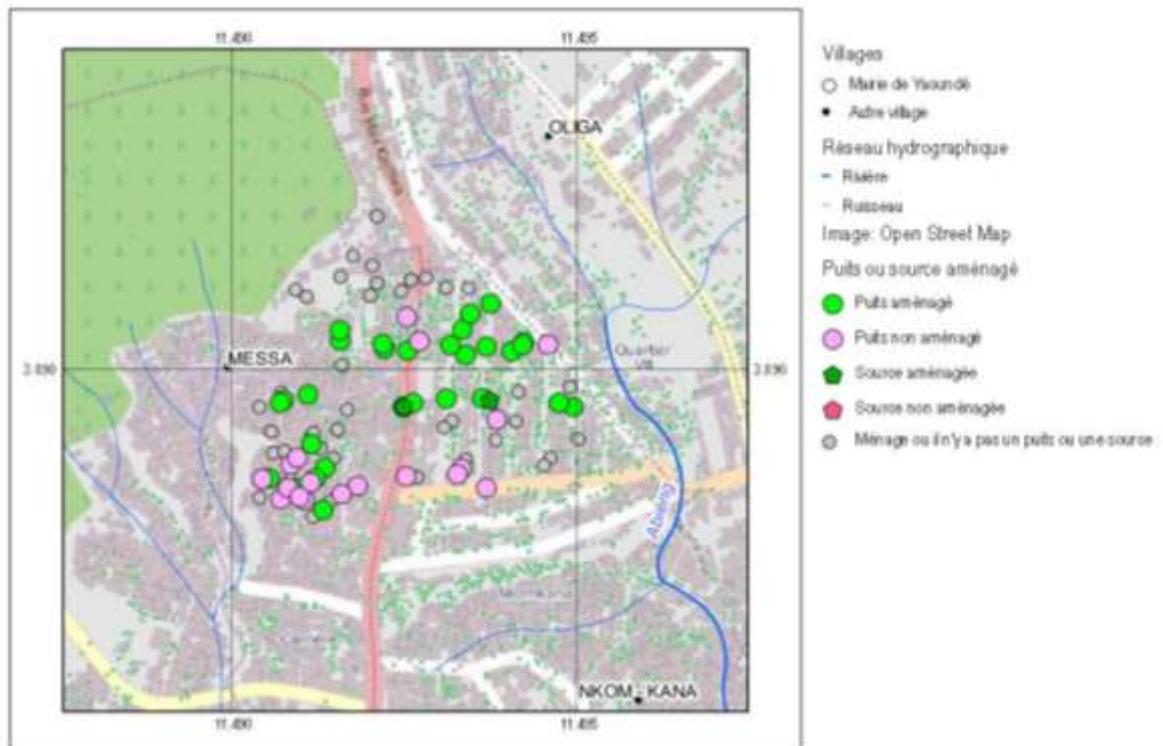
Les puits/sources existant près des habitats sont aménagés pour 46.6 % des ménages. Quand ils ne sont pas aménagés, les risques de contamination sont élevés, et la qualité de l'eau s'en trouve altérée. Il devient ainsi dangereux, pour 53.4 % des ménages, de recourir à cette eau pour s'alimenter en eau potable.



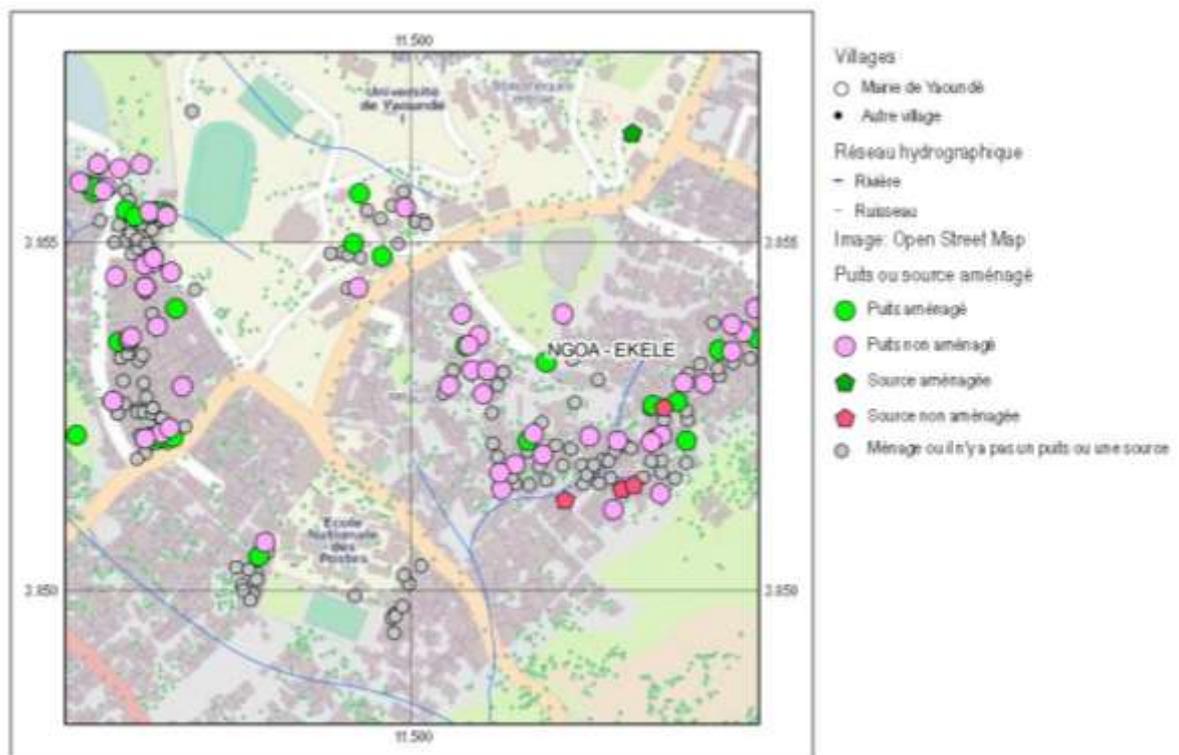
**Figure 49:** (à gauche) puits non aménagé dans la communauté de l'Ekoudou et (à droite) source non aménagée à Apollo, communauté de Messa-Carrière – (left) unamended dug well in the Ekoudou spatial cluster (puits) and (right) unamended spring at Apollo, Messa-Carrière spatial cluster.



**Figure 50:** Puits ou source aménagé - State of the local groundwater points – Madagascar 1 / 10 000.



**Figure 51:** Puits ou source aménagé - *State of the local groundwater points – Messa Carrière 1 / 10 000.*



**Figure 52:** Puits ou source aménagé - *State of the local groundwater points – Ngoa-Ekéle 1 / 10 000.*

### 5.1.3.5 Temps nécessité pour rejoindre le point d'approvisionnement en eau potable le plus proche - Time required to provision the household with water

Le temps nécessité pour rejoindre le point d'approvisionnement en eau potable le plus proche (qui se trouve hors du ménage) permet d'appréhender les difficultés auxquelles les populations sont confrontées pour accéder à l'eau. Les résultats de l'enquête EPESS montrent que 4.7 % de ménages mettent au moins 15 mn pour s'approvisionner en eau potable. Ceci revient à dire que même dans la ville de Yaoundé, les populations déploient des efforts physiques et temporels pour accéder à l'eau potable. Cette proportion est particulièrement élevée dans la zone de Ngoa-Ekélé (11.3 %).

**Tableau 32:** Temps nécessité pour rejoindre le point d'approvisionnement en eau potable le plus proche (en %) - Time required to provide the household with water; in %.

	Zone d'étude						Ensemble Yaoundé
	Ekoudou	Ngoa-Ekélé	Messa	Madagascar	Byem Assi/Obili	Zone d'étude	
Point s'approvisionnement dans le ménage	80.0	71.5	63.6	72.7	76.7	71.6	76.2
1-5 mn	5.0	1.7	8.1	2.9	3.3	3.5	3.8
5-10 mn	5.0	6.7	14.1	8.6	3.3	8.0	6.8
10-15 mn	5.0	4.6	3.0	7.9	5.0	5.2	3.9
Plus de 15 mn	5.0	11.3	4.0	2.9	6.7	7.1	4.7
NSP		4.2	7.1	5.0	5.0	4.7	4.7
<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>
<b>Effectif</b>	<b>40</b>	<b>239</b>	<b>99</b>	<b>139</b>	<b>60</b>	<b>577</b>	<b>1196</b>

Source : INS/EPESS 2012

### 5.1.3.6 Mode de stockage de l'eau potable du ménage - Storage methods of water reserves in households

Afin d'assurer un approvisionnement des ménages en eau potable, plusieurs modes de stockage sont pratiqués par les ménages. Le plus courant est la conservation de l'eau dans les bouteilles plastiques, une réalité qu'on retrouve dans les plus grandes proportions dans la zone estudiantine de Ngoa-Ekélé avec 43.0% des ménages enquêtés. Au second rang, vient le stockage en bidons (37.3 %), puis en sceaux/bassines (16.5 %) et enfin en futs/barriques (2.1 %), qui sont les plus couramment utilisés dans la zone de Madagascar où les coupures d'eau sont les plus fréquentes.

**Tableau 33:** Mode de stockage de l'eau potable du ménage (en %) - *Storage methods of water reserves in households; in %.*

	Zone d'étude					Ensemble	
	Ekoudou	Ngoa-Ekélé	Messa Carrière	Madagascar	Biyem Assi/Obili	Zone d'étude	Ensemble Yaoundé
Bouteille	37.5	43.3	26.0	37.4	37.9	38.0	43.0
Bidon	42.5	38.2	41.7	44.3	34.5	40.1	37.3
Sceau/bassine	20.0	15.5	27.1	13.0	27.6	18.5	16.5
Fut/barrique		1.7	3.1	5.3		2.5	2.1
Autre		1.3	2.1			.9	1.1
<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>
<b>Effectif</b>	<b>40</b>	<b>233</b>	<b>96</b>	<b>131</b>	<b>58</b>	<b>558</b>	<b>1136</b>

Source : INS/EPESS 2012

### 5.1.3.7 Eau en milieu populaire : Un usage généralisé à des fins multiples

Malgré leurs perceptions et connaissances à l'égard de la qualité de l'eau, avec les conséquences que celle-ci peut avoir sur leur santé, les populations interrogées des quartiers concernés par l'étude déclarent avoir plusieurs usages de l'eau en provenance des diverses sources énumérées. En effet, quelles que soient les sources d'approvisionnement en eau, force est de constater dans le cadre de cette enquête que les populations utilisent l'eau « pour tout faire », c'est-à-dire se contentent de l'eau qu'ils ont à disponibilité pour répondre à tous leurs besoins quotidiens, tels que la vaisselle, la lessive, la cuisine voire la consommation comme eau potable.

## 5.2 Mode d'évacuation des eaux usées

### 5.2.1 Eaux usées des ménages (Principal mode d'évacuation des eaux usées du ménage) - Household wastewater

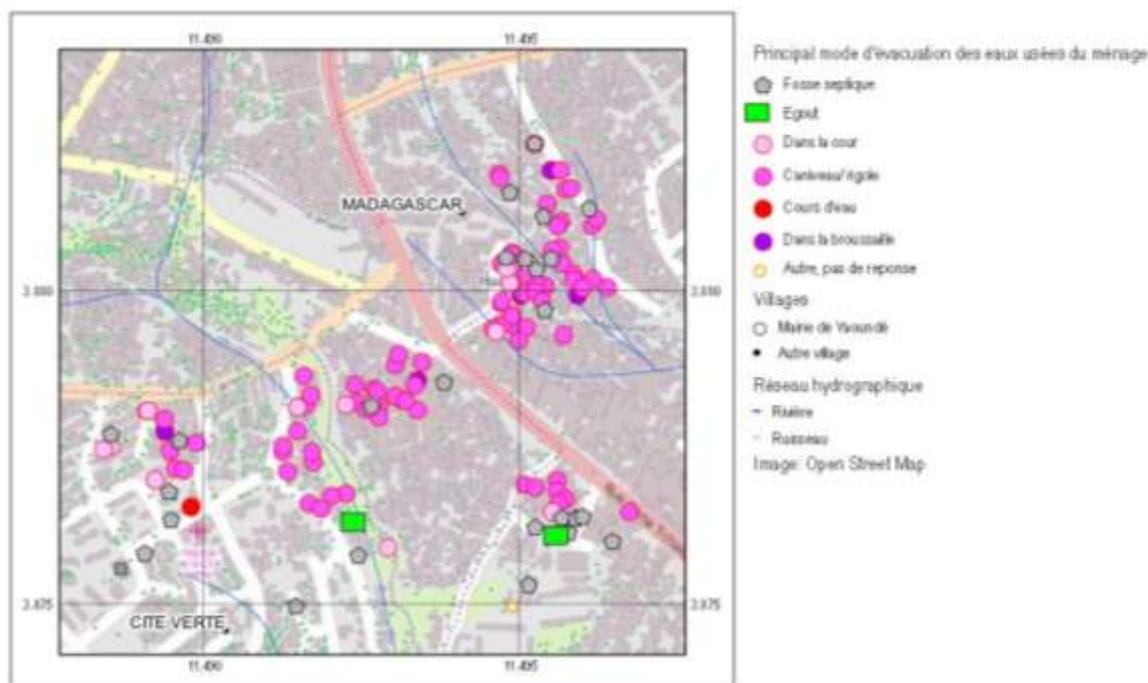
Mal gérées, les eaux usées attirent des moustiques et autres parasites ou microbes, facteurs de maladies telles que le paludisme et celles liées à la peau (Nguendo Yongsi et al. 2008). Dans la ville de Yaoundé, l'enquête EPESS révèle que près de 58 % des ménages déversent leurs eaux usées dans les caniveaux/rigoles proches de leurs logements. Cette situation est de nature à menacer la santé des populations de ces quartiers. Il y a donc nécessité pour les autorités de la ville de prendre des mesures incitatives à la construction des fosses septiques ou égouts qui ne sont encore utilisés, pour le moment, que par 19.8 % et 1 % de ménages respectivement.

**Tableau 34:** Principal mode d'évacuation des eaux usées du ménage – *Principal mode of household waste water; in %.*

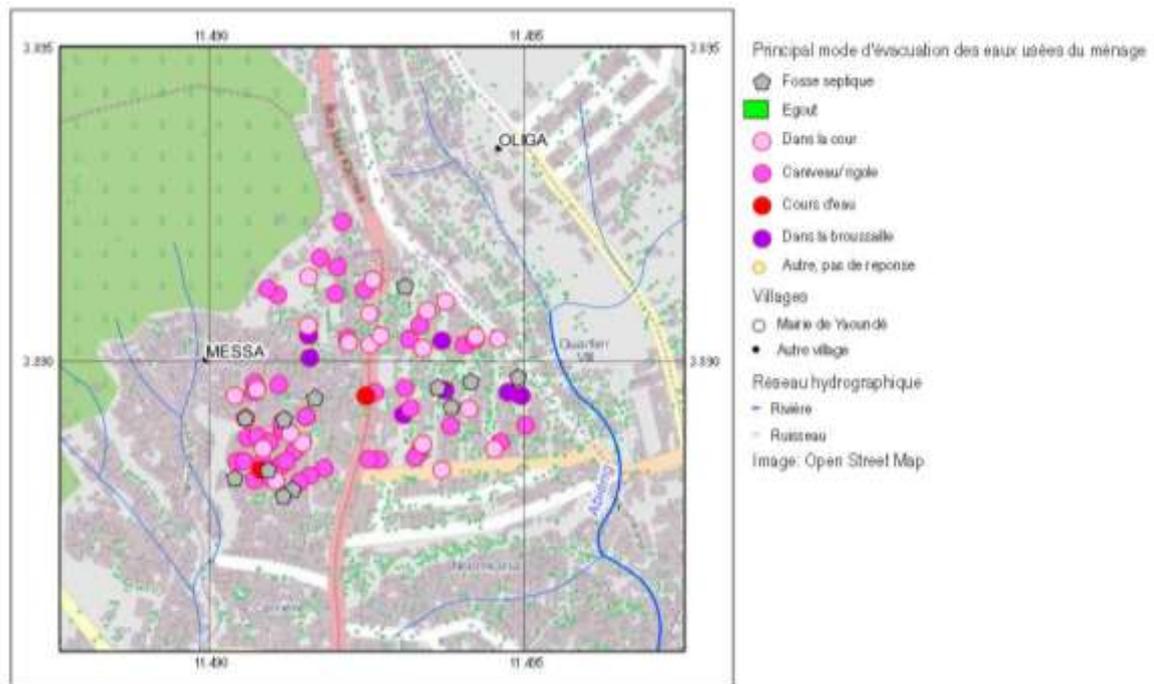
	Zone d'étude					Zone d'étude	Ensemble Yaoundé
	Ekoudou	NgoaEkélé	Messa	Madagascar	Biyem Assi/Obili		
Fosse septique	15.0	13.4	12.5	20.2	14.0	15.0	19.8
Egout				1.6		.4	1.0
Dans la cours	15.0	19.4	24.0	10.1	12.3	17.0	13.8
Caniveau/rigole	62.5	57.3	52.1	62.8	64.9	58.8	57.7
Cours d'eau	2.5	3.0	2.1	.8	3.5	2.3	2.1
Dans la brousaille	5.0	6.9	9.4	4.7	5.3	6.5	5.6
<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>
<b>Effectif</b>	<b>40</b>	<b>232</b>	<b>96</b>	<b>129</b>	<b>57</b>	<b>554</b>	<b>1126</b>

Source : INS/EPESS 2012

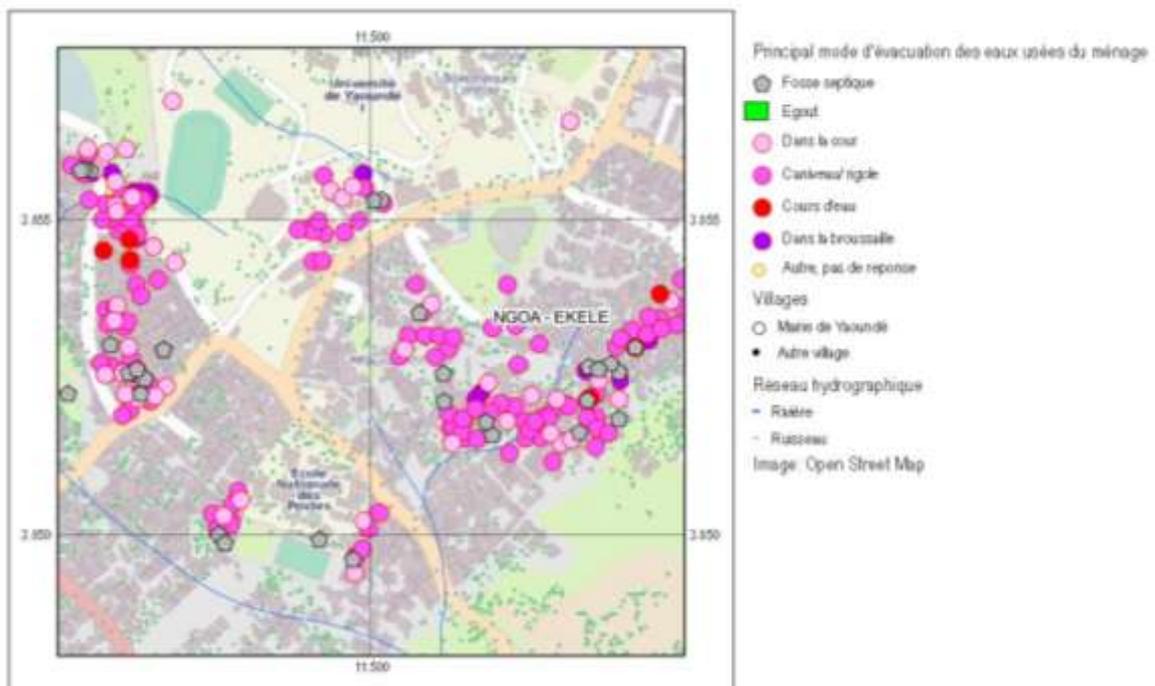
Carte thématique 17: Principal mode d'évacuation des eaux usées en annexe.



**Figure 53:** Principal mode d'évacuation des eaux usées du ménage – *Principal mode of household-wastewater disposal – Madagascar 1 / 10 000.*



**Figure 54:** Principal mode d'évacuation des eaux usées du ménage – *Principal mode of household-wastewater disposal – Messa Carrière 1 / 10 000.*



**Figure 55:** Principal mode d'évacuation des eaux usées du ménage – *Principal mode of household-wastewater disposal – Ngoa Ekélé 1 / 10 000.*

### 5.2.2 Eaux usées des toilettes (Mode de canalisation des eaux des toilettes) - Toilet wastewater

Une bonne quantité d'eaux usées provient de l'utilisation des toilettes. Cependant, leur canalisation ne devrait suivre le même circuit que les eaux usées ordinaires. Or à Yaoundé, il est remarqué que 52.0 % des ménages canalisent les eaux des toilettes vers

les fosses septiques alors que près de 34.2 % des ménages déversent ces eaux dans un trou. Ceci traduit l'existence de deux principales structures d'habitat à Yaoundé ; à savoir les habitats modernes avec salles de bain et douches, et l'habitat de type semi rural avec des lieux d'aisance à l'extérieur du logement. Les rigoles qui desservent les quartiers sont sollicitées par 15.3 % des ménages de Yaoundé et 20.4 % de ceux de la zone d'étude pour évacuer leurs eaux usées des toilettes. Ce comportement déviant des ménages expose les populations aux risques de maladies.

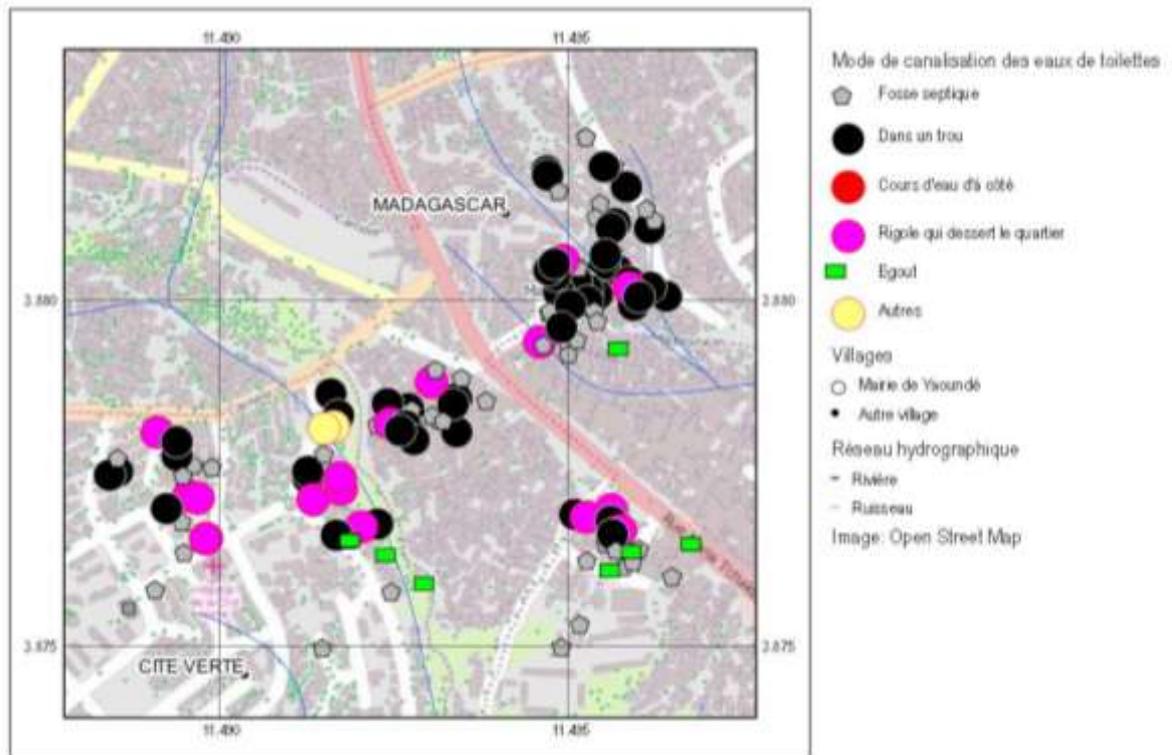
**Tableau 35:** Mode de canalisation des eaux des toilettes (en %) – *Modes to empty toilets; in %.*

	Zone d'étude					Ensemble Zone d'étude	Ensemble Yaoundé
	Ekoudou	Ngoa-Ekélé	Messa Carrière	Madagascar	Byem Assi/Obili		
Fosse septique	65.0	47.2	46.9	45.8	36.2	47.0	52.0
Egout				5.3		1.3	1.6
Cours d'eau d'à côté		5.6	6.3	0.8	5.2	4.1	3.6
Rigole qui dessert le quartier	2.5	25.3	25.0	13.0	22.4	20.4	15.3
Dans un trou	35.0	34.8	29.2	45.8	43.1	37.3	34.2
Autre	2.5	.9	2.1	1.5		1.3	1.7
<b>Effectif</b>	<b>40</b>	<b>233</b>	<b>96</b>	<b>131</b>	<b>58</b>	<b>558</b>	<b>1136</b>

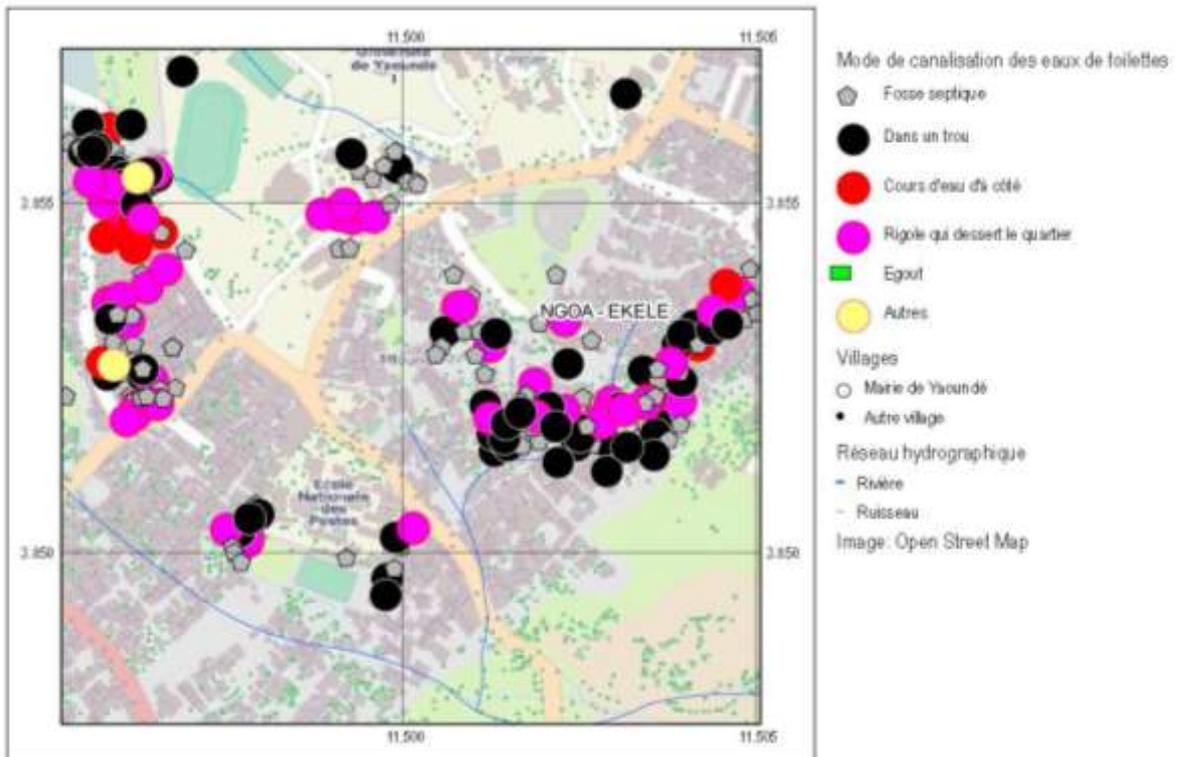
Source : INS/EPESS 2012



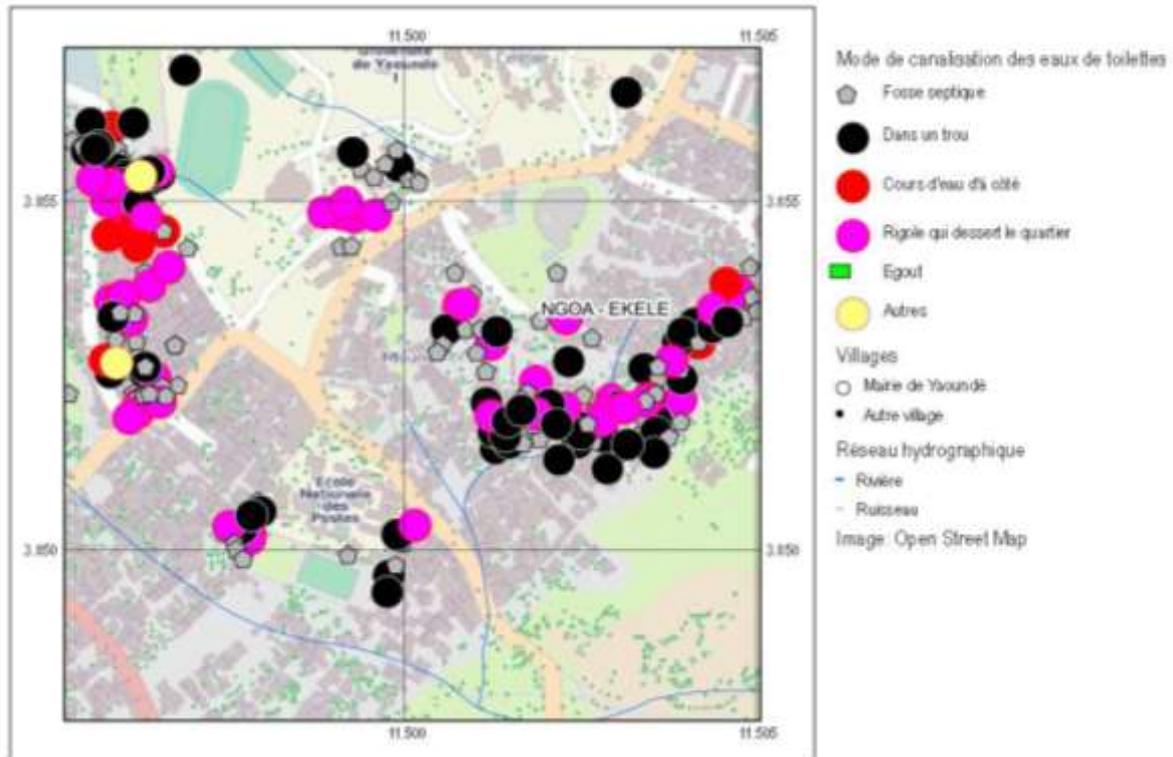
**Figure 56:** Construction d'une petite fosse septique à trois compartiments sur une pente qui va de Messa-Carrière à Tsinga-Olinga - *Construction of a small three chambered septic tank on the slope below Messa-Carrière towards Tsinga-Olinga.*



**Figure 57:** Canalisation des eaux usées de toilettes – *Canalisation of used toilet water – Madagascar 1 / 10 000.*



**Figure 58:** Canalisation des eaux usées de toilettes – *Canalisation of used toilet water – Ngoa Ekélé 1 / 10 000.*



**Figure 59:** Canalisation des eaux usées de toilettes – *Canalisation of used toilet water* – Ngoa-Ekélé 1 / 10 000.

Carte thématique 18: Mode de canalisation des eaux de toilettes en annexe.

### 5.2.2.1 **Fréquence de vidange des fosses septiques durant les 10 dernières années - Frequency to empty septic tanks**

La vidange des fosses septiques est une pratique indispensable pour la préservation du cadre de vie des populations. Les fosses septiques qui débordent et mal entretenues vont disperser les eaux usées dans le voisinage / l'environnement et perdre leur efficacité à réduire la charge bactérienne pathogène à des niveaux bas. Cette pratique n'est pas encore répandue à Yaoundé. En effet, 73.6 % des ménages de Yaoundé ont déclaré n'avoir pas vidangé leurs fosses septiques au cours des 10 dernières années et seuls 20.3 % des ménages se sont prêtés à cette pratique. Il s'en dégage ainsi un faible engouement pour la vidange des fosses septiques. Ceci entraîne la contamination de la nappe phréatique par des nutriments et des sels provenant des ses eaux usées. C'est aux autorités de la ville de Yaoundé, de prendre des mesures pour encourager cette bonne pratique qui rentre dans l'amélioration des conditions d'hygiène et de salubrité dans les ménages.

**Tableau 36:** Fréquence de vidange des fosses septiques durant les 10 dernières années - *Frequency to empty septic tanks; in %.*

	Zone d'étude					Zone d'étude	Ensemble Yaoundé
	Ekoudou	Ngoa-Ekéle	Messa-Carrière	Madagascar	Byem Assi/Obili		
Aucune fois	69.2	70.0	80.0	70.0	90.5	73.3	73.6
Au moins une fois	30.8	18.2	17.8	21.7	9.5	19.5	20.3
<b>NSP</b>		<b>11.8</b>	<b>2.2</b>	<b>8.3</b>		<b>7.3</b>	<b>6.1</b>
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
<b>Ensemble</b>	<b>26</b>	<b>110</b>	<b>45</b>	<b>60</b>	<b>21</b>	<b>262</b>	<b>591</b>

Source : INS/EPESS 2012

Carte thématique 20: Fréquence mensuelle des coupures d'eau en annexe.

### 5.2.2.2 Type de toilettes utilisées par le ménage - Type of toilets

Nguendo Yongsi et al. (2008) montrent qu'un environnement sain est lié au mode d'évacuation des matières fécales. Ainsi, les toilettes appropriées apparaissent comme un préalable incontournable dans l'assainissement afin d'éviter une contamination des eaux souterraines et de surface par les matières fécales. Ces toilettes prennent surtout la forme de latrines aménagées ou de WC avec chasse d'eau dans la ville de Yaoundé où respectivement 42.3 % et 35.5 % des ménages les utilisent. Malheureusement, près de 22 % des ménages qui utilisent des latrines non aménagées ne se soucient pas de l'entretien des lieux. Aussi, les coupures fréquentes d'eau dans la ville contribueraient au mauvais entretien des toilettes, mêmes de celles dites modernes, qui seraient par conséquent le lieu de cultures des pathogènes.

**Tableau 37:** Type de toilettes utilisées par le ménage (en %) - *Type of toilets used in households; in %.*

	Zone d'étude					Zone d'étude	Ensemble Yaoundé
	Ekoudou	NgoaEkélé	Messa Carrière	Madagascar	Byem Assi/Obili		
WC avec chasse d'eau	37.5	23.6	24.0	38.2	24.1	28.1	35.5
Latrines aménagées	32.5	55.8	42.7	48.1	46.6	49.1	42.3
Latrines non aménagées	30.0	20.6	33.3	13.7	29.3	22.8	22.2
<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>
<b>Effectif</b>	<b>40</b>	<b>233</b>	<b>96</b>	<b>131</b>	<b>58</b>	<b>558</b>	<b>1136</b>

Source : INS/EPESS 2012

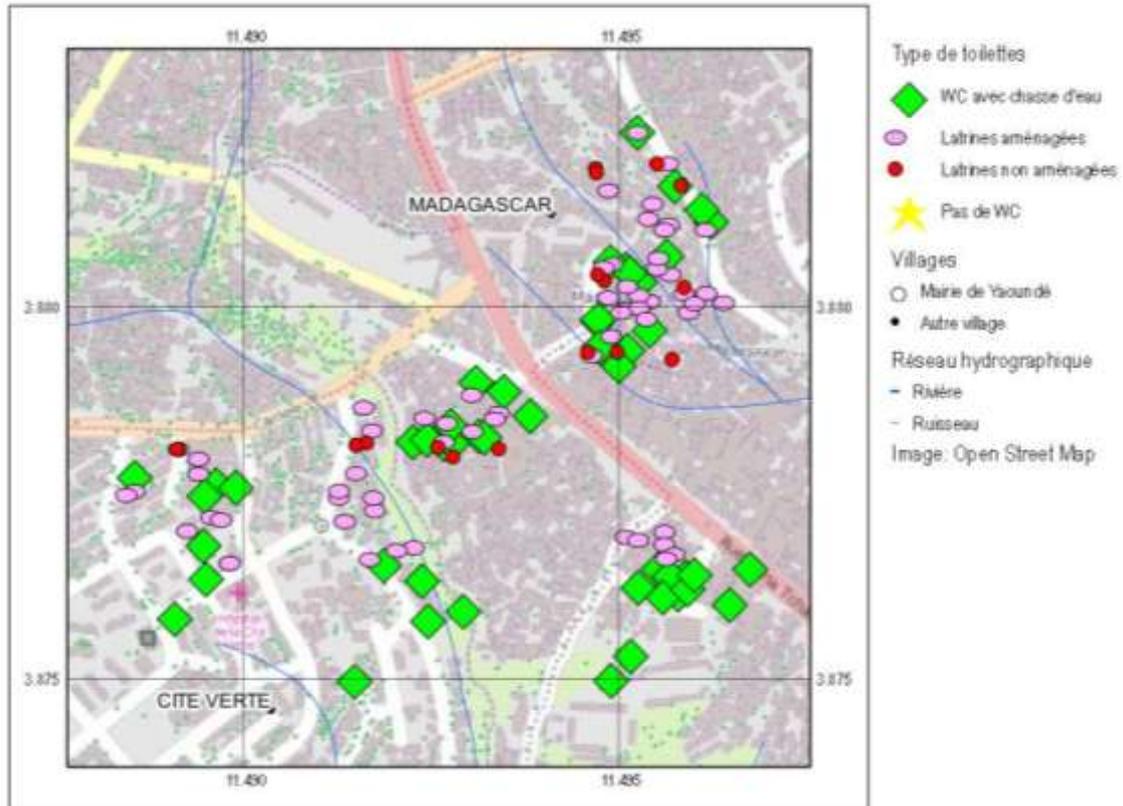


Figure 60: Type de toilettes – Type of toilets – Madagascar 1 / 10 000.

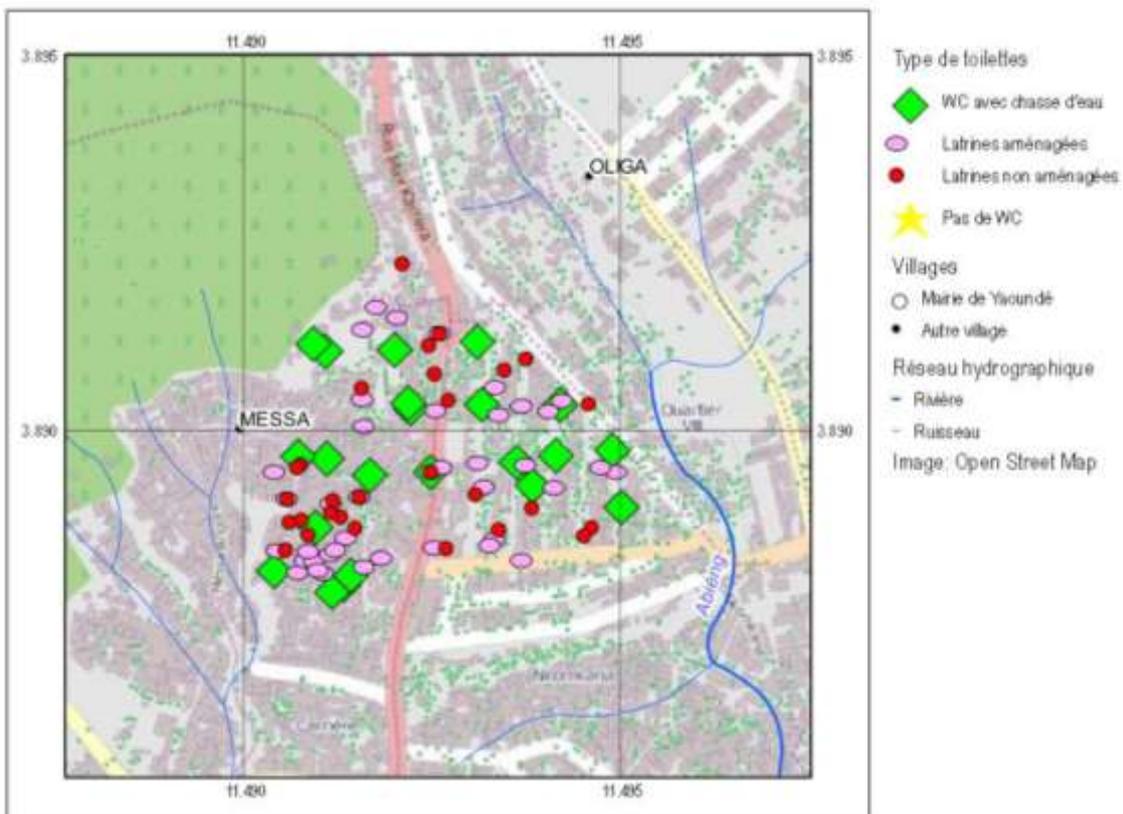


Figure 61: Type de toilettes – Type of toilets – Ngoa-Eké 1 / 10 000.

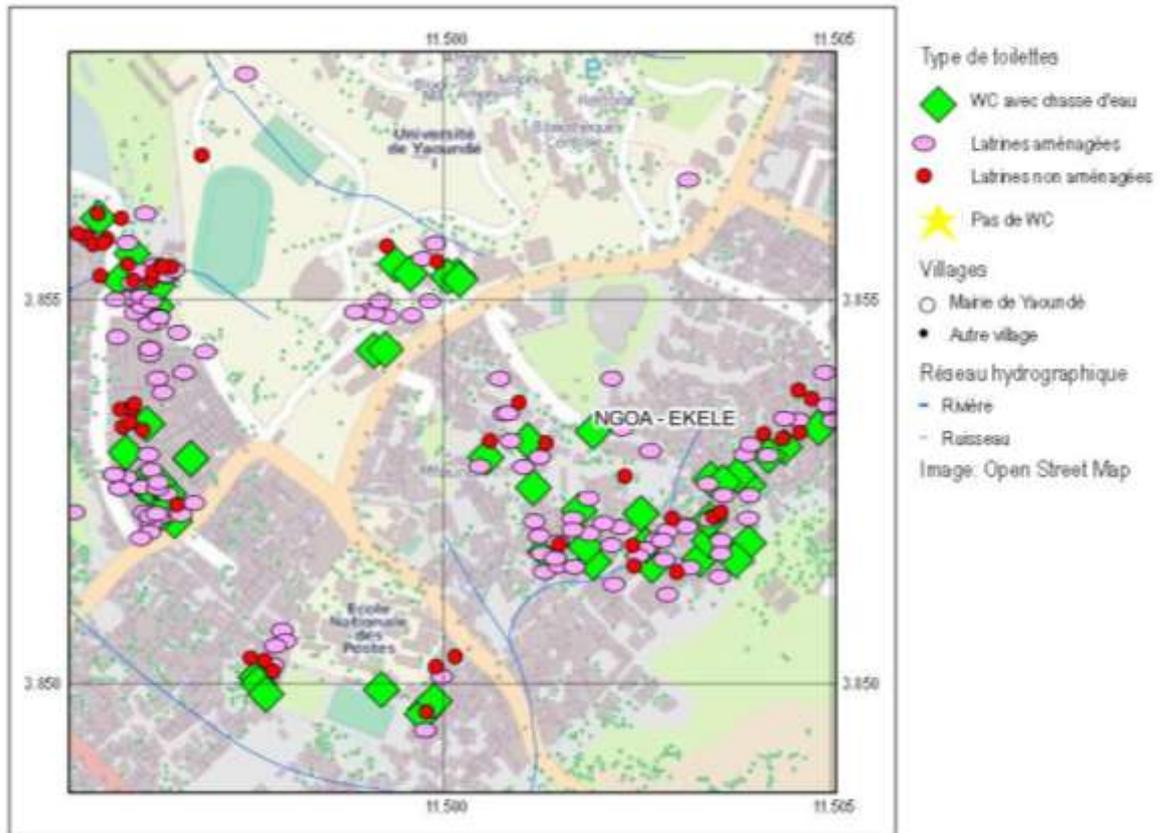
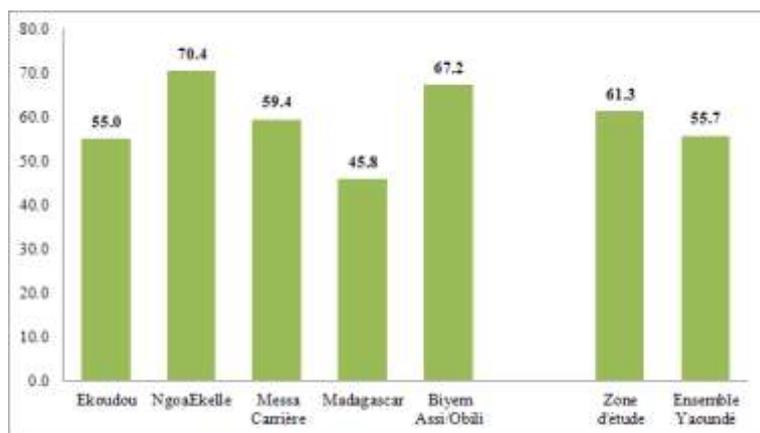


Figure 62: Type de toilettes –Type of toilets – Messa Carrière 1 / 10 000.

### 5.2.2.3 Nombre de ménages utilisant les mêmes toilettes - Number of households using the same toilets

L'utilisation des mêmes toilettes par plusieurs ménages traduit la promiscuité dans laquelle vivent les populations de Yaoundé, qui courent ainsi un risque élevé. Ce phénomène concerne 55.7 % des ménages. Dans ces conditions, les toilettes mal entretenues pourraient constituer une source de contamination, d'autant que le partage des toilettes implique parfois quatre à six ménages. Cette pratique est plus observée à Ngoa-Ekélé, à Biyem-Assi/Obili avec respectivement 70.4 % et 67.2 % des ménages.



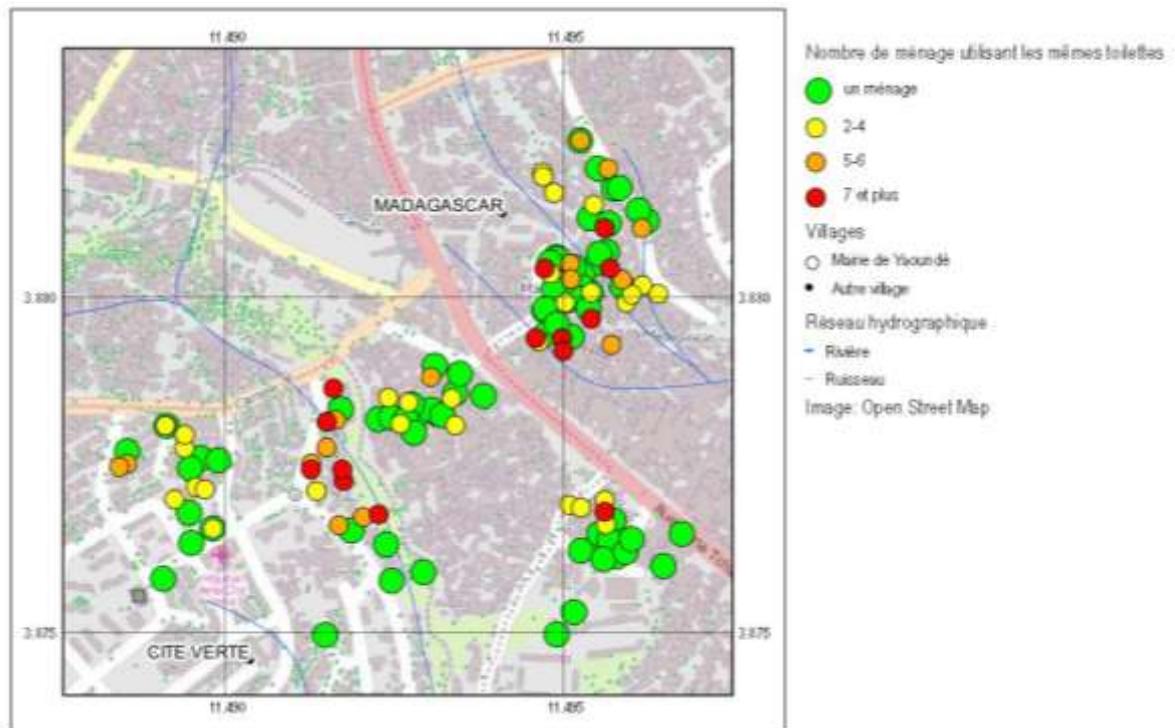
**Figure 63:** Pourcentage de ménages utilisant les toilettes avec les autres ménages - *Percentage of households using the same toilets; in %.*

Alors que l'utilisation partagée de toilettes expose les ménages concernés à des risques, elle peut aussi être considérée comme un bon point de départ pour introduire des techniques appliquées et décentralisées afin d'alléger le degré de contamination des eaux souterraines. (chapitre 5.3) par l'eau des toilettes et les eaux usées des ménages. Comme cela a été brièvement évoqué en chapitre 5.5, l'introduction et la promotion de toilettes avec séparation d'urine pourrait être une stratégie percutante pour réduire la contribution à la contamination des eaux souterraines urbaines. Une acceptation plus large des toilettes partagées par la population, quand bien même ce n'est pas la solution privilégiée, pourrait aider à la promotion de ces techniques pour améliorer la situation dans les quartiers.

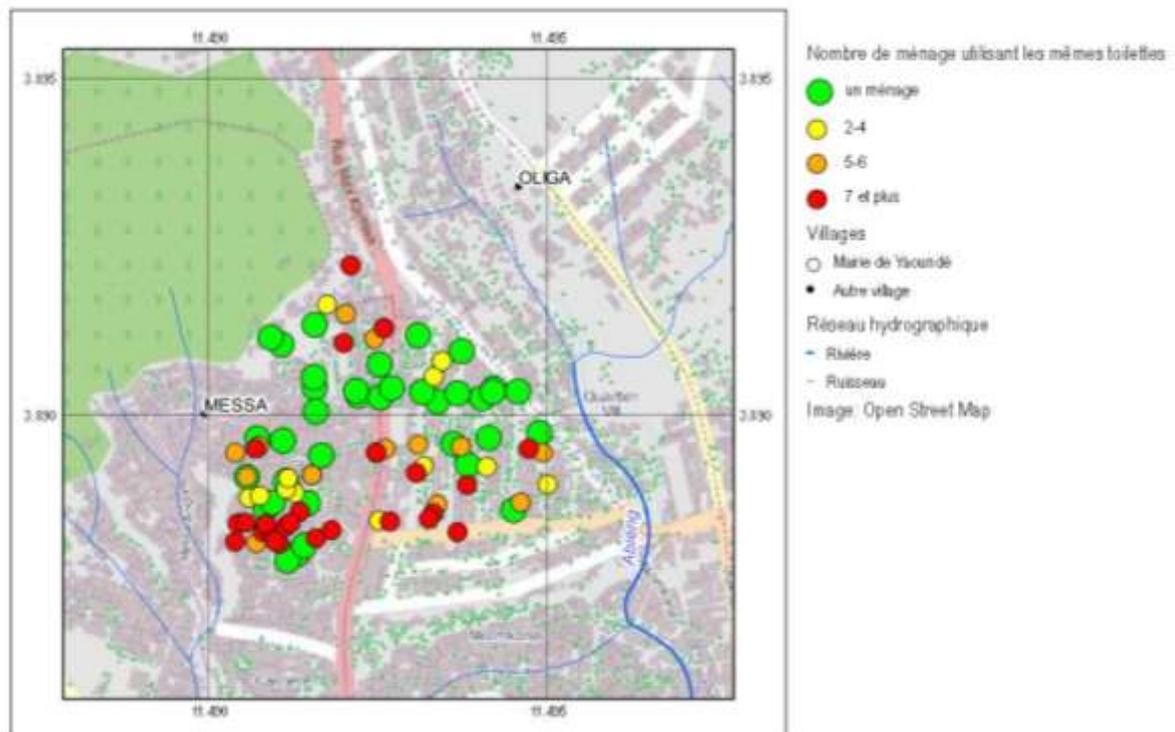
**Tableau 38:** Pourcentage des ménages qui partagent les mêmes toilettes – *Percentage of households using the same toilet; in %.*

	Zone d'étude					Zone d'étude	Ensemble Yaoundé
	Ekoudou	Ngoa-Ekélé	Messa	Madagascar	Byem Assi/Obili		
1-3 ménages	27.3	23.2	28.1	50.0	38.5	30.7	31.8
4-6 ménages	45.5	36.6	29.8	35.0	38.5	36.0	35.2
7 ménages et plus	27.3	40.2	42.1	15.0	23.1	33.3	33.0
<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>
<b>Ensemble</b>	<b>22</b>	<b>164</b>	<b>57</b>	<b>60</b>	<b>39</b>	<b>342</b>	<b>633</b>

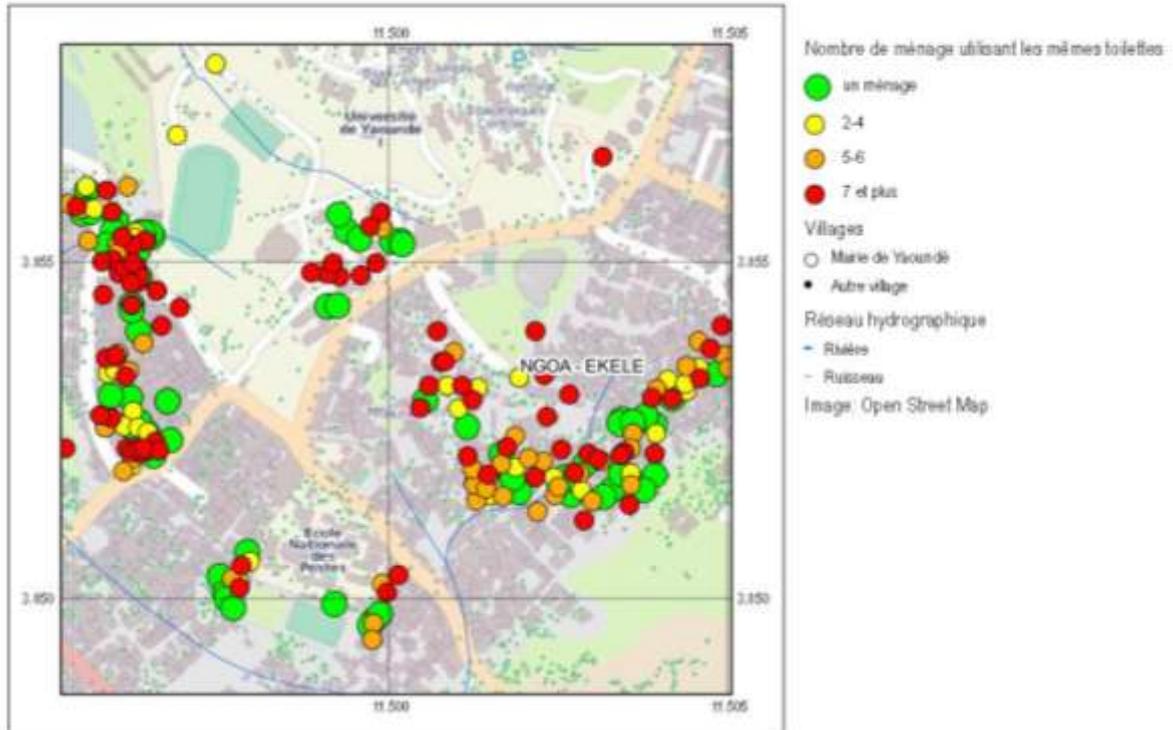
Source : INS/EPESS 2012



**Figure 64:** Nombre de ménages utilisant les mêmes toilettes – *Number of households using the same toilet – Madagascar 1 / 10 000.*



**Figure 65:** Nombre de ménages utilisant les mêmes toilettes – *Number of households using the same toilet – Messa Carrière 1 / 10 000.*



**Figure 66:** Nombre de ménages utilisant les mêmes toilettes – Number of households using the same toilet – *Ngoa-Ekélé 1 / 10 000*.

#### **5.2.2.4 Normes en matière de toilettes et de points d'eau - Cameroonian regulations with regard to toilets and water points**

Au Cameroun, les normes en matière de toilettes et de points d'eau sont régies entre autres par décret n°737 /PM du 23 avril 2008 fixant les règles de sécurité, d'hygiène et d'assainissement en matière de construction.

Ainsi, en son chapitre 3 sur les règles d'hygiène et de salubrité en matière de construction, plusieurs articles indiquent les normes en matière de toilettes et de gestion des déchets et des eaux usées. Il s'agit de:

- l'article 13 qui stipule que les bâtiments d'habitation doivent au moins comporter des pièces de services (cuisines, cabinets de toilette, salles de bain, sanitaires, buanderies et séchoirs);
- l'article 14 qui indique que toute construction comportant des logements distincts doit disposer d'un local spécial clos, ventilé et aménagé pour le dépôt et l'évacuation facile des ordures. Ce local doit être tel que ni ordures, ni émanations de mauvaises odeurs ne peuvent pénétrer à l'intérieur d'une autre partie de la construction. Elle doit par ailleurs comporter un poste de lavage et un système d'évacuation d'eau, qui doivent être réalisés pour l'entretien.
- l'article 21 qui stipule que toute cuisine incorporée au bâtiment principal ou toute pièce à usage, même partiel, de cuisine doit comporter un évier bénéficiant d'un éclairage naturel convenable et muni d'un écoulement d'eau siphonnée, un robinet de puisage au-dessus de l'évier, dans le cas où la distribution d'eau est assurée et une ventilation naturelle efficace permettant l'évacuation des buées, comportant notamment, une amenée d'air spéciale.
- l'article 22 stipule que les buanderies, séchoirs, cabinets de toilette et salles de bain, ci-après désignés « salles d'eau », sont éclairées directement sur l'extérieur par une baie ouvrable, et ventilés par un système comportant une amenée et une évacuation d'air. Par ailleurs, les salles d'eau peuvent exceptionnellement être installées en position centrale c'est-à-dire sans baie ouvrant directement sur l'extérieur si elles comportent les gaines d'évacuation et un système d'amenée d'air permettant un renouvellement d'air efficace.
- l'article 24 les sanitaires ne doivent pas communiquer directement ni avec les cuisines, ni avec les salles où se prennent normalement les repas. Lorsqu'ils ne sont pas reliés à un réseau d'assainissement ou à une fosse septique, les cabinets d'aisance ne peuvent s'ouvrir sur une pièce principale. Dans tout logement de plus d'une pièce principale ne comportant qu'un seul sanitaire, l'accès à ce cabinet est assuré sans passage obligatoire par une pièce principale.
- l'article 25 les sanitaires doivent être munis de revêtement de sol et de parois conformes aux prescriptions édictées pour les cuisines. Leurs sièges sont en matériaux imperméables, à parois lisses et faciles à entretenir.

- l'article 26 les sanitaires reliés à un réseau d'assainissement ou à une fosse septique doivent comporter une cuvette siphonnée et un dispositif combinant la chasse polluée avec le lavage de la cuvette. Ce dispositif doit exclure tout risque de pollution de l'eau potable par les eaux vannes.
- l'article 27 les sanitaires reliés à un réseau d'assainissement ou à une fosse septique doivent être aérés, soit par une baie ouvrante sur l'extérieur au moins égale à 10 dm<sup>2</sup>; une trémie ne pouvant dépasser 2 m de longueur mesurant au moins 10 cm<sup>2</sup> de section et raccordée à une baie de même dimension ouvrante sur l'extérieur; l'ouverture et la fermeture de cette baie devant être assurées au moyen d'un dispositif pouvant être manœuvré de l'intérieur du cabinet; un système de gaines et une baie libre de 40 dm<sup>2</sup> au moins, dont l'appui excède une hauteur de 2 m au-dessus du sol des locaux de part et d'autre, et qui débouche sur une salle d'eau ventilée directement sur l'extérieur.
- l'article 28 qui stipule que lorsqu'il ne peut être établi un raccordement à un réseau d'assainissement ou à une fosse septique, le cabinet d'aisance comporte une cuvette munie d'un dispositif d'occlusion efficace empêchant les émanations. Il est obligatoirement aéré directement sur l'extérieur par une baie ouvrante au moins égale à 10 dm<sup>2</sup>.
- Il y a également le chapitre 4 sur les règles d'assainissement en matière de construction qui définit un certain nombre de disposition. Il s'agit de:
- l'article 33 qui stipule qu'au sens du présent décret, l'assainissement est la collecte, le traitement et la restitution au milieu naturel des fluides simples pollués par les activités humaines.
- l'article 34 qui indique que trois systèmes d'assainissement sont autorisés à savoir le système unitaire ou à l'égout qui envoie toutes les eaux à la station d'épuration, le système séparatif qui comporte deux réseaux différents, l'un qui collecte les eaux usées et les amène à la station d'épuration et l'autre qui recueille les eaux pluviales et les conduit au milieu naturel, et l'assainissement individuel ou autonome qui correspond au traitement des eaux domestiques dans la parcelle concernée (eaux vannes et eaux usées).
- l'article 34 qui stipule que la construction des fosses septiques et des puits perdus dans les unités d'habitations doit respecter la réglementation en vigueur.
- l'article 36 qui stipule qu'un sanitaire distinct, intérieur ou extérieur au logement, doit être installé pour tout logement de plus d'une pièce principale. Par ailleurs, un sanitaire unitaire au moins doit être installé par groupe de trois logements comptant une seule pièce principale, à proximité de ces logements.
- l'article 37 qui stipule qu'il est interdit de placer un robinet de puisage d'eau à usage domestique dans un sanitaire qui n'est pas réservé à l'usage exclusif des habitants.

- l'article 38 qui stipule que les eaux des pluies, les eaux usées doivent être évacuées rapidement et éloignées de la construction sans stagnation ni retour de liquide, matière ou gaz. En outre les parois intérieures des ouvrages appelés à recevoir les autres liquides, doivent être lisses et imperméables et leurs joints étanches aux liquides et gaz.
- l'article 39 qui stipule que les canalisations de chute des sanitaires et des descentes d'eaux ménagères doivent être indépendantes des descentes d'eaux pluviales et prolongées par des tuyaux d'aération, dits d'évent ou de ventilation primaire, débouchant hors combles et loin de toute baie.
- l'article 40 qui stipule que dans le cas où les eaux ménagères et les eaux vannes sont évacuées à l'intérieur par un tuyau de chute commun, le système d'occlusion des appareils sanitaires et hydrauliques ainsi qu'une aération particulière dénommée ventilation seconde pouvant éviter les désamorçages et le refoulement de l'eau de la gade des siphons, sont installés à proximité immédiate du siphon propre à chaque appareil.
- l'article 41 qui stipule que les branchements d'alimentation en eau et les colonnes de distribution doivent avoir une section suffisante pour desservir tous les appareils de l'immeuble, conformément à la réglementation en vigueur.
- l'article 42 qui stipule que toutes les précautions doivent être prises pour empêcher la pollution des conduites, réservoirs et citernes d'eau par les gaz provenant des évacuations d'eaux et matières usées ou polluées. Par ailleurs. Les réservoirs et citernes doivent être aménagés pour servir, éventuellement. à la lutte contre l'incendie

### 5.3 Assainissement du ménage - Disposal of household waste

#### 5.3.1 Mode d'évacuation des ordures ménagères - Principal mode d'évacuation des ordures ménagères - Primary modes of waste disposal

D'après une étude menée par Jimenez et al. (2010), la pollution des eaux dans les métropoles des pays en voie de développement découle essentiellement d'un assainissement défectueux. Il devient donc important d'encourager les pratiques qui favorisent l'assainissement du cadre de vie du ménage notamment l'évacuation des ordures ménagères. De l'enquête EPESS, il ressort qu'environ 80 % de ménages de la ville de Yaoundé évacuent leurs ordures ménagères par le canal de la société HYSACAM. On voit donc que le taux de couverture de la ville, plus précisément des zones d'étude par HYSACAM est élevé, même si des efforts restent à fournir par les pouvoirs publics pour étendre ce réseau au reste des ménages dont une grande partie, à savoir 11.7% évacue les ordures ménagères dans les broussailles ou dans la cour.

L'évacuation dans les caniveaux/rigoles de 3.6% des ménages dans la zone étudiée est d'importance particulière, parce que les bouteilles d'eau représentent une part importante des déchets d'un ménage, bouchent le système de drainage en surface (**Figure 67**) et sont la cause d'inondations locales pendant la saison des pluies ou les gros orages. Cela vaut aussi pour l'évacuation dans un cours d'eau.

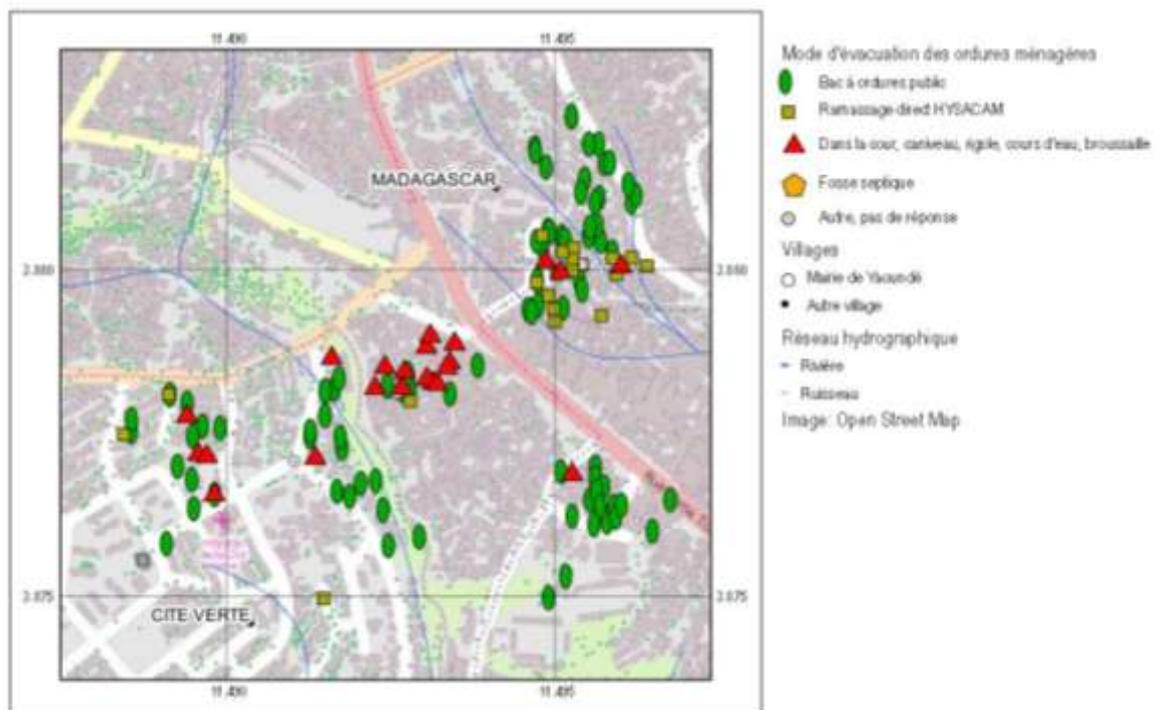
**Tableau 39:** Principal mode d'évacuation des ordures ménagères (en %) – *Primary modes of waste disposal; in %.*

	Zone d'étude					Zone d'étude	Ensemble Yaoundé
	Ekoudou	Ngoa-Ekélé	Messa Carrière	Madagascar	Biyem Assi/Obili		
<b>Hysacam</b>	<b>75.0</b>	<b>74.7</b>	<b>67.7</b>	<b>82.3</b>	<b>82.8</b>	<b>76.1</b>	<b>79.6</b>
Bac à ordure public	60.0	55.8	40.6	66.9	65.5	57.1	53.6
Ramassage direct Hysacam	15.0	18.9	27.1	15.4	17.2	19.0	26.0
<b>Autre lieu</b>	<b>25.0</b>	<b>25.3</b>	<b>32.3</b>	<b>17.7</b>	<b>17.2</b>	<b>23.9</b>	<b>20.4</b>
Fosse septique		0.4			1.7	0.4	1.0
Caniveau/rigole	10.0	3.9		4.6	1.7	3.6	1.9
Cours d'eau		6.4	2.1	3.1	5.2	4.3	3.7
Broussaille/Dans la cours	12.5	10.7	29.2	9.2	5.1	13.1	11.7
Autre	2.5	3.9	1.0	0.8	3.4	2.5	2.2
<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>
<b>Effectif</b>	<b>40</b>	<b>233</b>	<b>96</b>	<b>130</b>	<b>58</b>	<b>557</b>	<b>1135</b>

Source : INS/EPESS 2012



**Figure 67:** Décharge de bouteilles d'eau en plastique bloquant un affluent de la rivière Biyeme à Biyem Assi (décembre 2011, affluent lourdement chargé en eaux usées) – *Discharged water bottles blocking a tributary channel to the Biyeme river at Biyem Assi (December 2011); tributary being heavily loaded with sewage.*



**Figure 68:** Mode d'évacuation des ordures ménagères – *Principal mode of waste removal – Madagascar 1 / 10 000.*

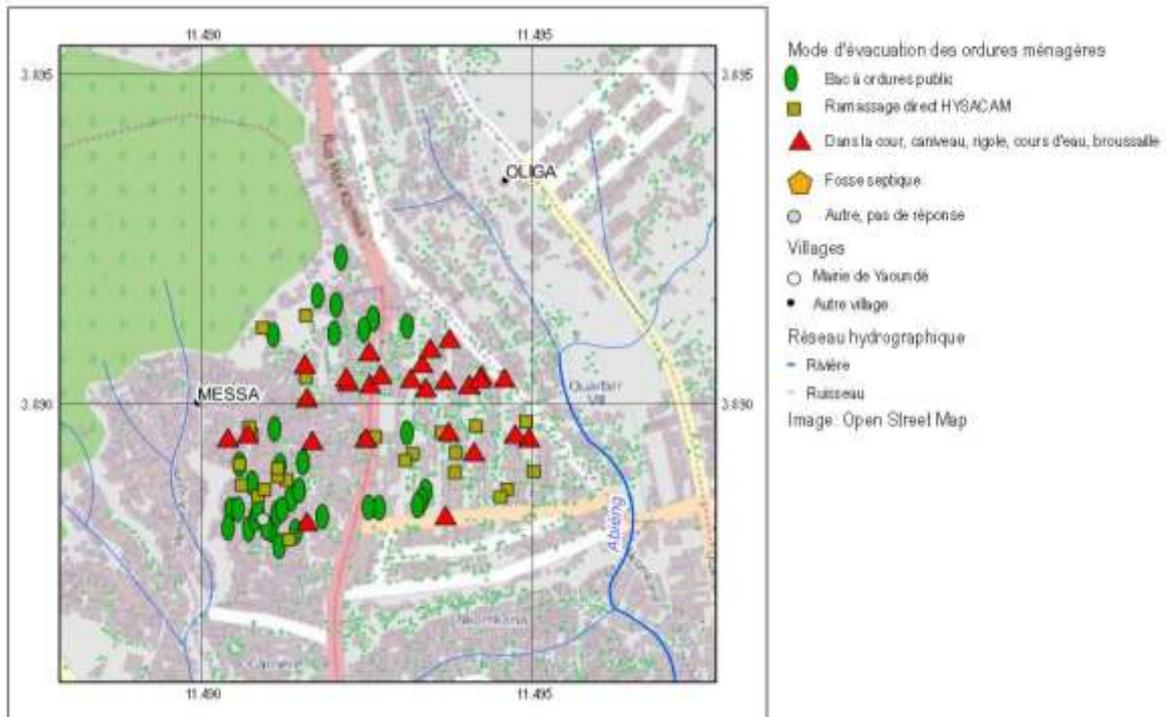


Figure 69: Mode d'évacuation des ordures ménagères – *Principal mode of waste removal – MESSA-CARRIÈRE 1 / 10 000*

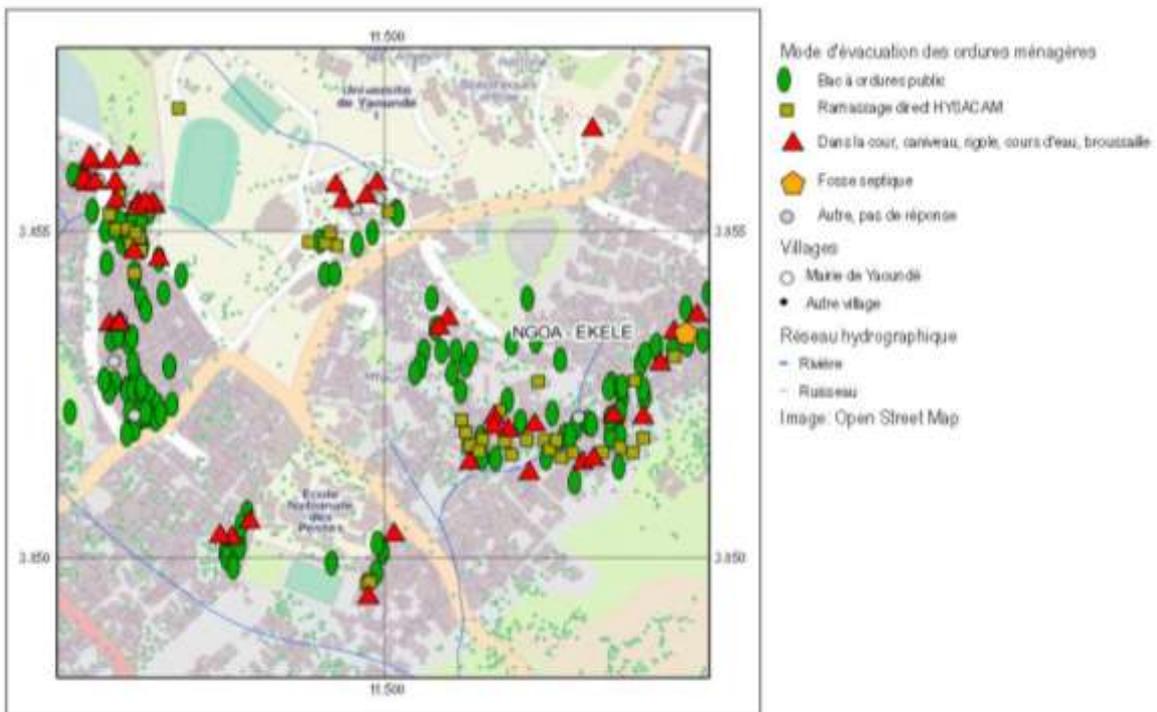
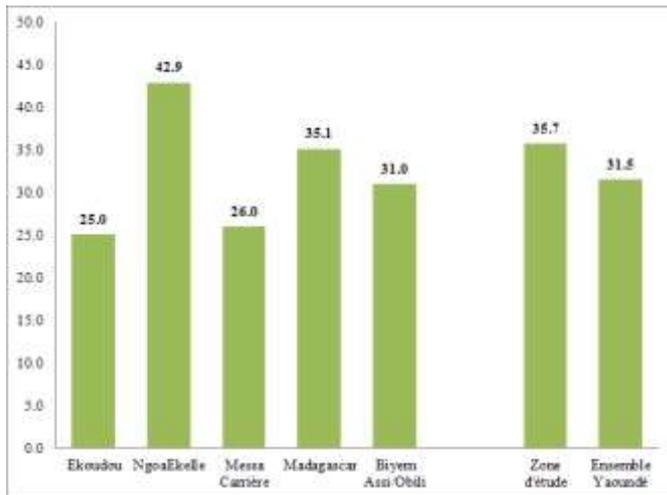


Figure 70: Mode d'évacuation des ordures ménagères - *Principal mode of waste removal – Ngoa-Ekélé 1 / 10 000.*

Carte thématique 16: Mode d'évacuation des ordures menagères en annexe.

### 5.3.2 Difficultés pour évacuer les ordures ménagères - Difficulties disposing household wastes

La principale difficulté rencontrée par les ménages pour évacuer leurs ordures ménagères vers la ville de Yaoundé, et ce dans toutes les zones d'étude, est l'éloignement des bacs à ordures HYSACAM. Ces bacs sont généralement posés dans les carrefours où sur des terrains non aménagés. Par conséquent, les ménages qui se trouvent dans les zones enclavées ont des difficultés à y accéder.



**Figure 71:** Proportion des ménages ayant déclaré avoir des difficultés pour évacuer les ordures ménagères - *Proportion of households having declared difficulties with the disposal of household wastes.*



**Figure 72:** Décharge publique d'ordures ménagères en aval d'une source d'eau d'Apollo à Messa-Carrière, le point d'eau le plus proche utilisé par les populations se trouve à quelques mètres seulement - *Household waste dump downstream of the spring area of Apollo at Messa-Carrière, the next water point used by the population is only meters away.*

Figure 72 montre une importante accumulation locale de déchets ménagers déchargés dans le quartier d’Apollo / Messa-Carrière au sein de la zone de la source, à proximité immédiate des points d’eau. Les chèvres et les poules se nourrissent sur les déchets.

### 5.3.3 Type de difficultés pour évacuer les ordures ménagères - Types of difficulties disposing household wastes

Hysacam ,principale société qui aide les ménages dans la collecte des ordures ménagères, rencontre des difficultés dans l’exercice ses activités.

Ce sont les ménages du quartier Ngoa-Ekellé qui sont les plus sujets aux problèmes de collecte (voir carte n°10). Ceci trouverait l’explication dans l’enclavement de ce quartier, ne permettant pas aux camions d’Hysacam de desservir convenablement les populations. Cet enclavement serait à son tour une conséquence des constructions anarchiques dues à la croissance rapide de la population, comme l’explique Nguendo Yongsi (2009)<sup>30</sup>. En effet, la population de Yaoundé a connu une expansion fulgurante avec un taux d’accroissement naturel de 4.5 % de 1980 à l’an 2006, enquête CAVIE<sup>31</sup>. En général, selon les cartes par quartier, l’éloignement des bacs à ordures serait le principal problème des populations . Ces bacs sont généralement posés dans les carrefours ou sur des terrains non aménagés. Par conséquent, les ménages qui se trouvent dans les zones enclavées ont des difficultés à y accéder, déversant ainsi leurs déchets dans les cours d’eau d’à côté ou dans les broussailles.

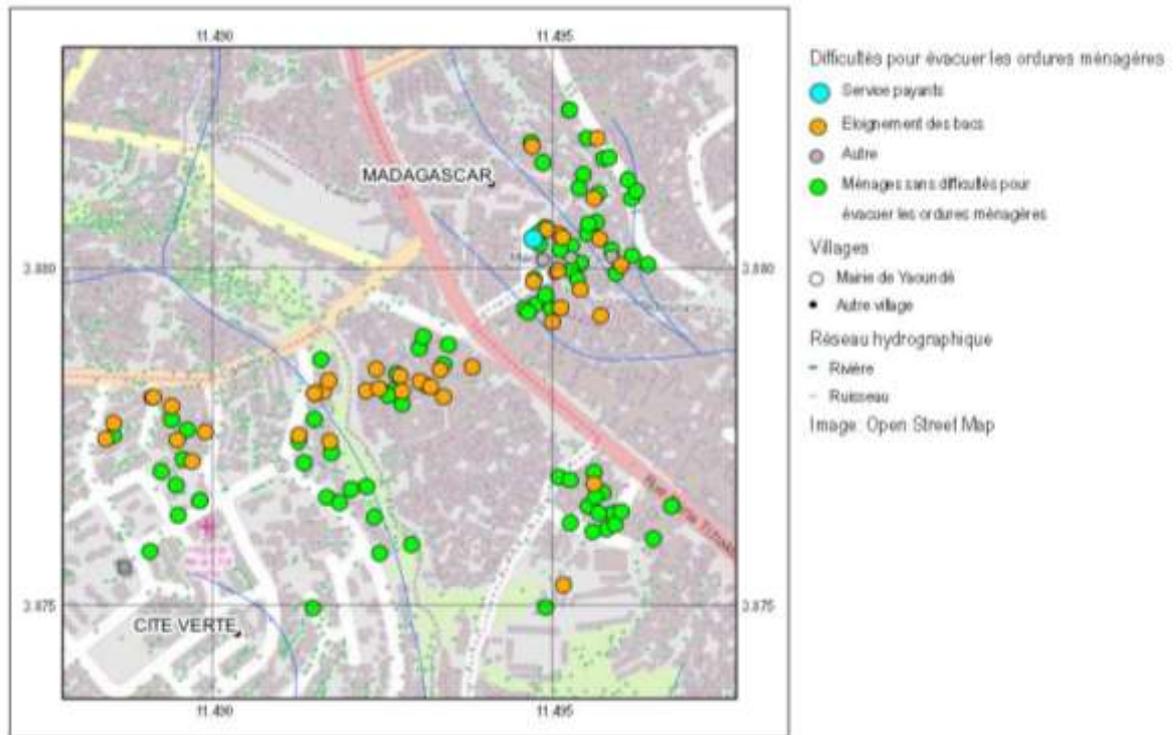
**Tableau 40:** Type de difficultés pour évacuer les ordures ménagères (en %) – *Types of difficulties disposing household wastes; in %.*

	Zone d'étude					Ensemble Zone d'étude	Ensemble Yaoundé
	Ekoudou	Ngoa-Ekélé	Messa Carrière	Madagascar	Biyem Assi/Obili		
Services payants		4.0		2.2		2.5	3.1
Eloignement des bacs	100.0	79.0	80.0	89.1	72.2	81.9	81.5
Autre		17.0	20.0	8.7	27.8	15.6	15.4
<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>
<b>Effectif</b>	<b>10</b>	<b>100</b>	<b>25</b>	<b>46</b>	<b>18</b>	<b>199</b>	<b>356</b>

Source : INS/EPESS 2012

<sup>30</sup> (1)Nguendo Yongsi: Human Settlement, Land Management and Health in Sub Saharan Cities (2009)

<sup>31</sup> CAVIE: Enquête sur le cadre de vie des populations de Yaoundé et de Douala, INS 2007



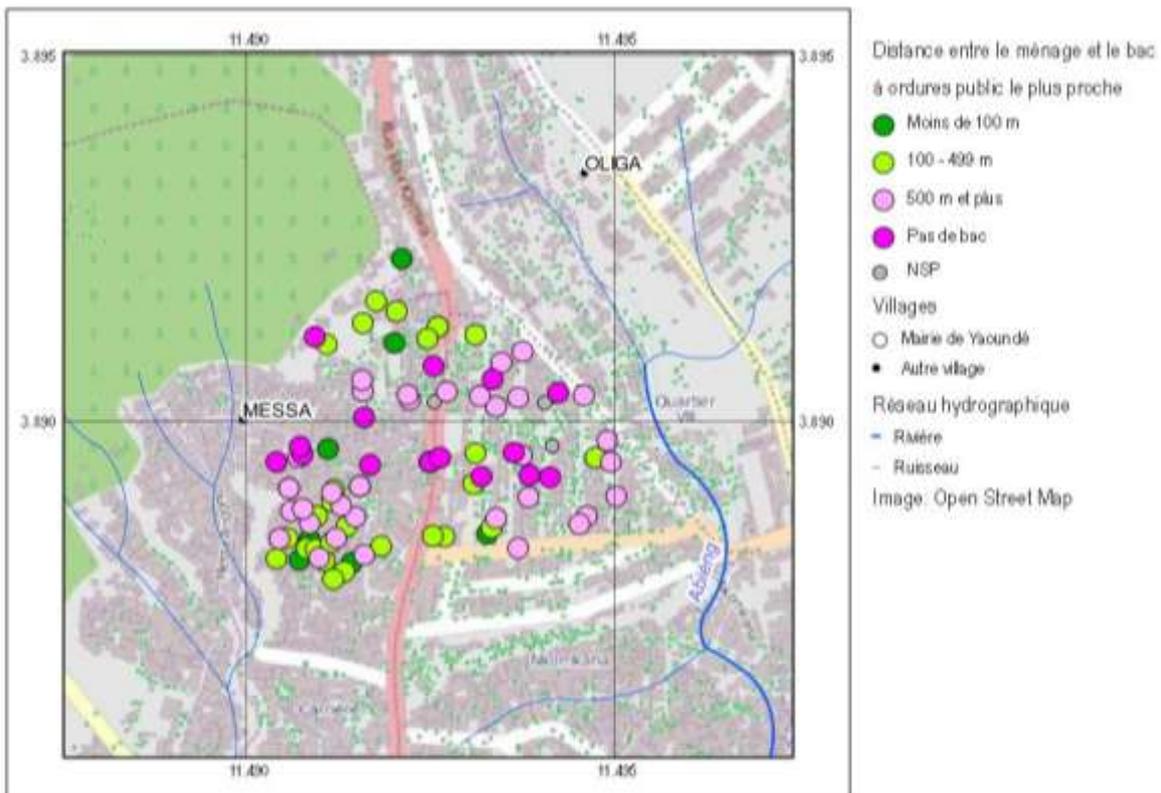
**Figure 73:** Difficultés pour évacuer des ordures ménagères – *Difficulties disposing domestic waste – Madagascar 1 / 10 000.*



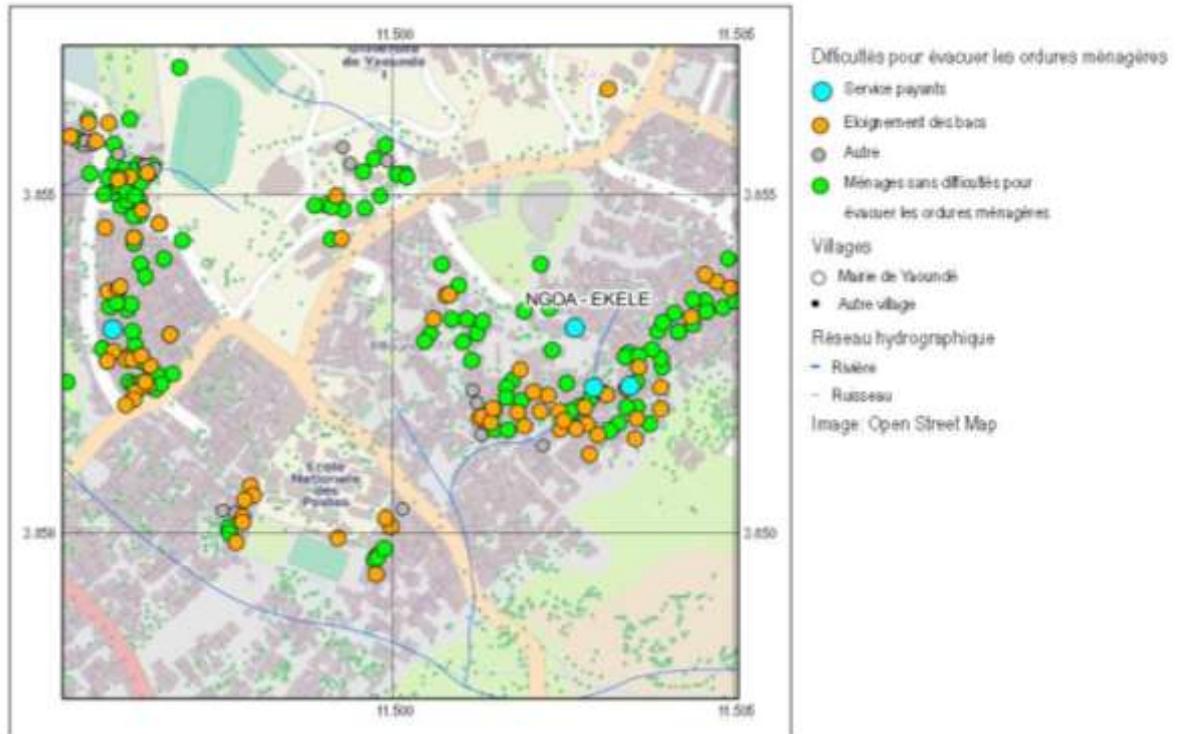
**Figure 74:** Distance entre le ménage et le bac à ordures public le plus proche – *Distance between household and the nearest public waste container – Madagascar 1 / 10 000.*



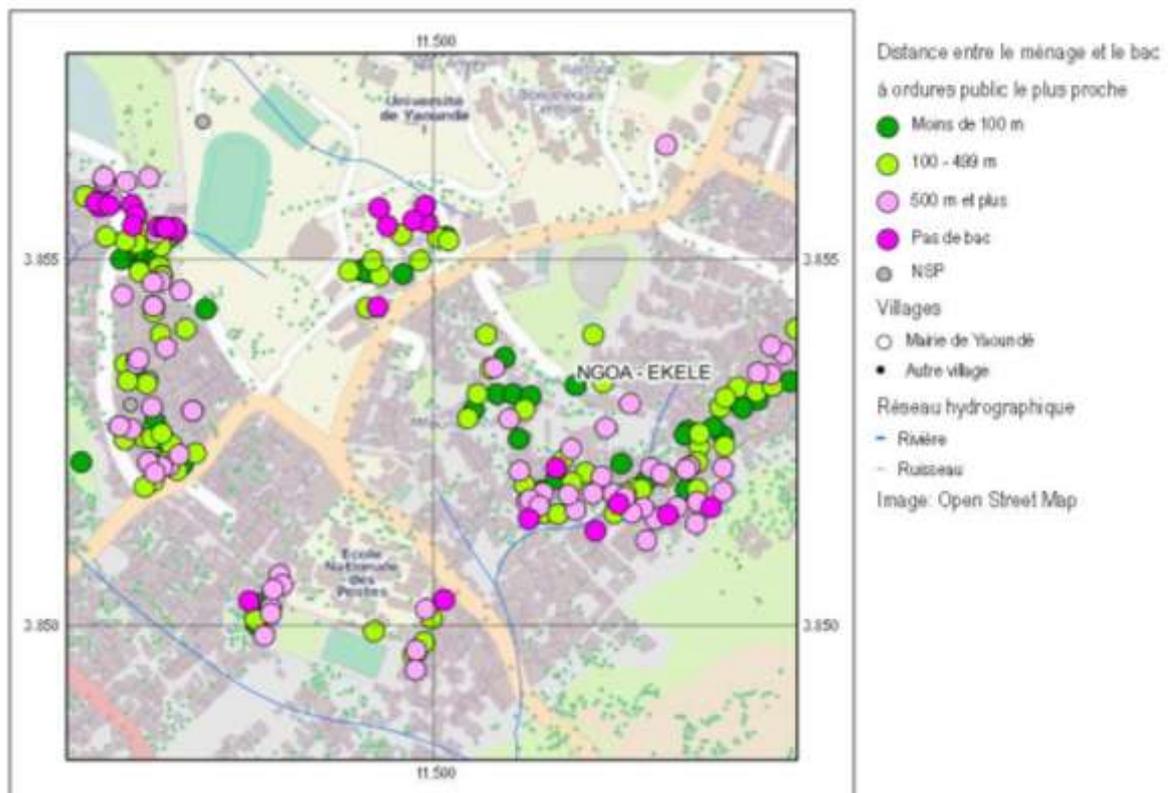
**Figure 75:** Difficultés pour évacuer des ordures ménagères – *Difficulties disposing domestic waste – Messa Carrière 1 / 10 000.*



**Figure 76:** Distance entre le ménage et le bac à ordures public le plus proche – *Distance between household and nearest public waste container – Messa Carrière 1 / 10 000.*



**Figure 77:** Difficultés pour évacuer des ordures ménagères – *Difficulties disposing domestic waste – Ngoa Ekélé 1 / 10 000.*



**Figure 78:** Distance entre le ménage et le bac à ordures public le plus proche – *Distance between households and the nearest public waste container – Ngoa Ekélé 1 / 10 000.*

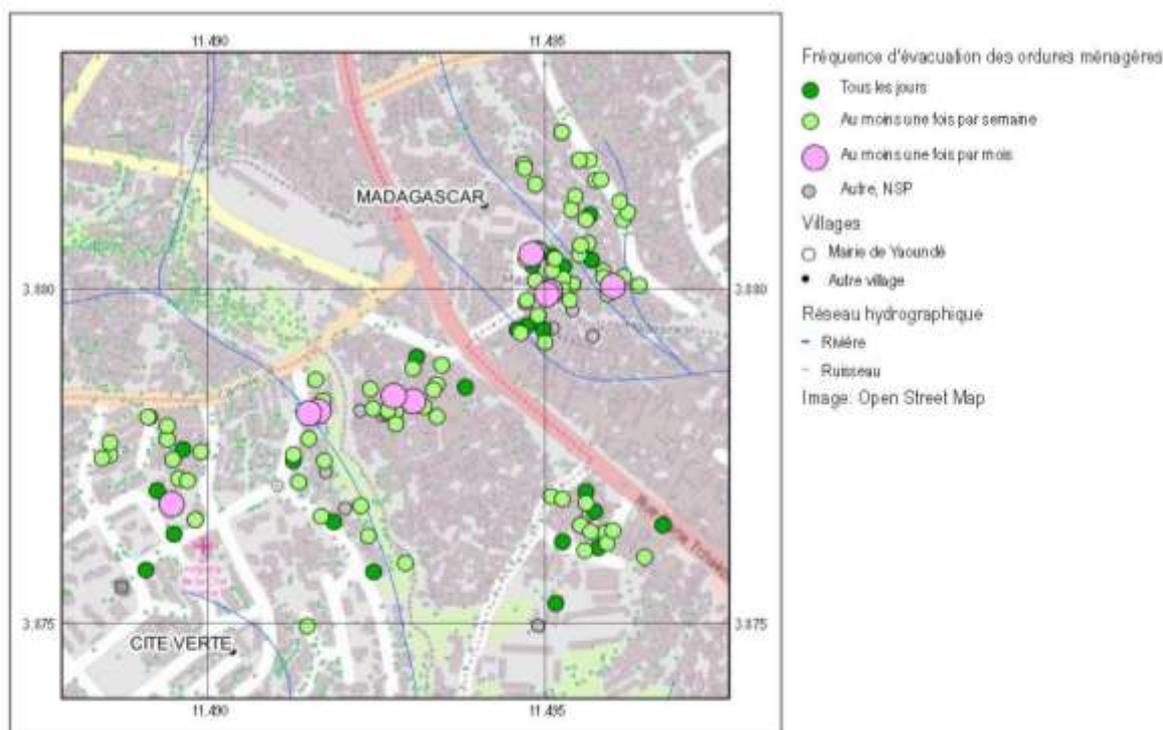
### 5.3.4 Fréquence d'évacuation des ordures ménagères - Intervals for collection of household wastes

La fréquence d'évacuation des ordures ménagères rend compte de l'exposition du ménage aux inconvénients liés à la présence des ordures ménagères dans l'habitat tels que les mauvaises odeurs, les parasites et l'insalubrité. Dans l'ensemble, 71.4 % de ménages se débarrassent des déchets solides à une fréquence régulière d'une fois par semaine. Ceux qui le font quotidiennement ne représentent que 20.7 %.

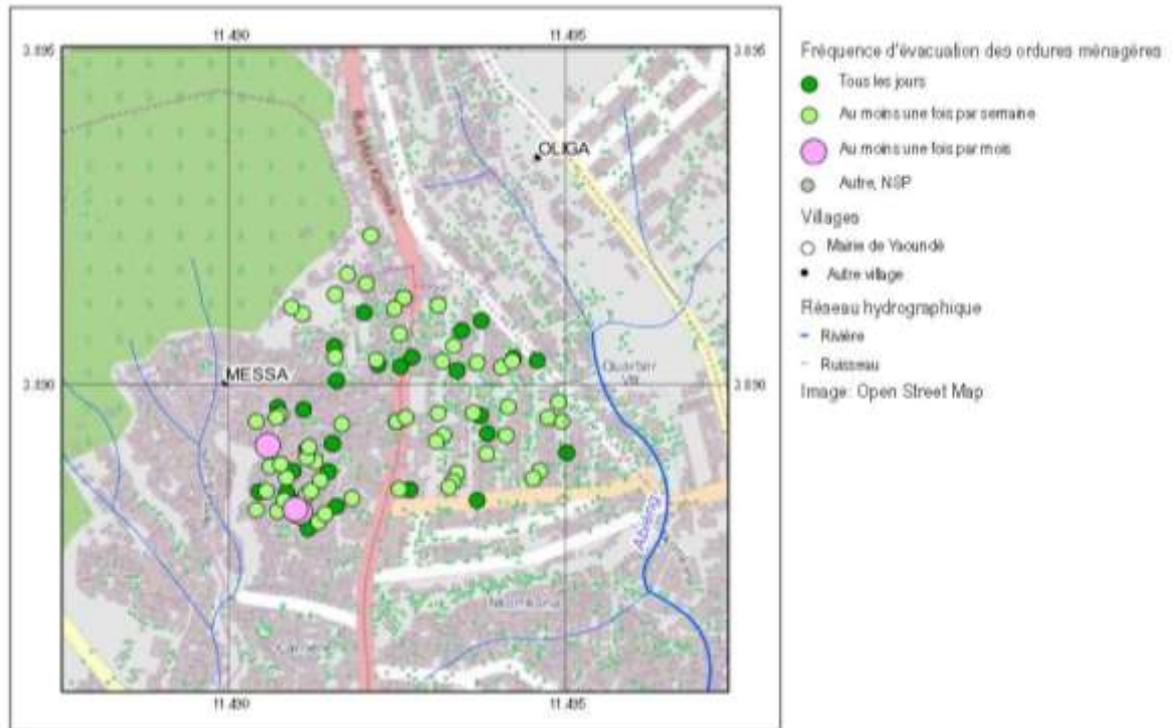
**Tableau 41:** Fréquence d'évacuation des ordures ménagères - *Intervals for collection of household wastes*; in %.

	Zone d'étude					Zone d'étude	Ensemble Yaoundé
	Ekoudou	Ngoa-Ekélé	Messa Carrière	Madagascar	Biyem Assi/Obili		
Tous les jours	25.0	19.7	32.3	20.6	13.8	21.9	20.7
Au moins une fois par semaine	70.0	72.1	64.6	65.6	82.8	70.3	71.4
Au moins une fois par mois	2.5	2.6	3.1	6.9	1.7	3.6	3.8
Autre	2.5	4.3		4.6	1.7	3.2	3.3
NSP		1.3		2.3		1.1	0.8
<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>
<b>Effectif</b>	<b>40</b>	<b>233</b>	<b>96</b>	<b>131</b>	<b>58</b>	<b>558</b>	<b>1136</b>

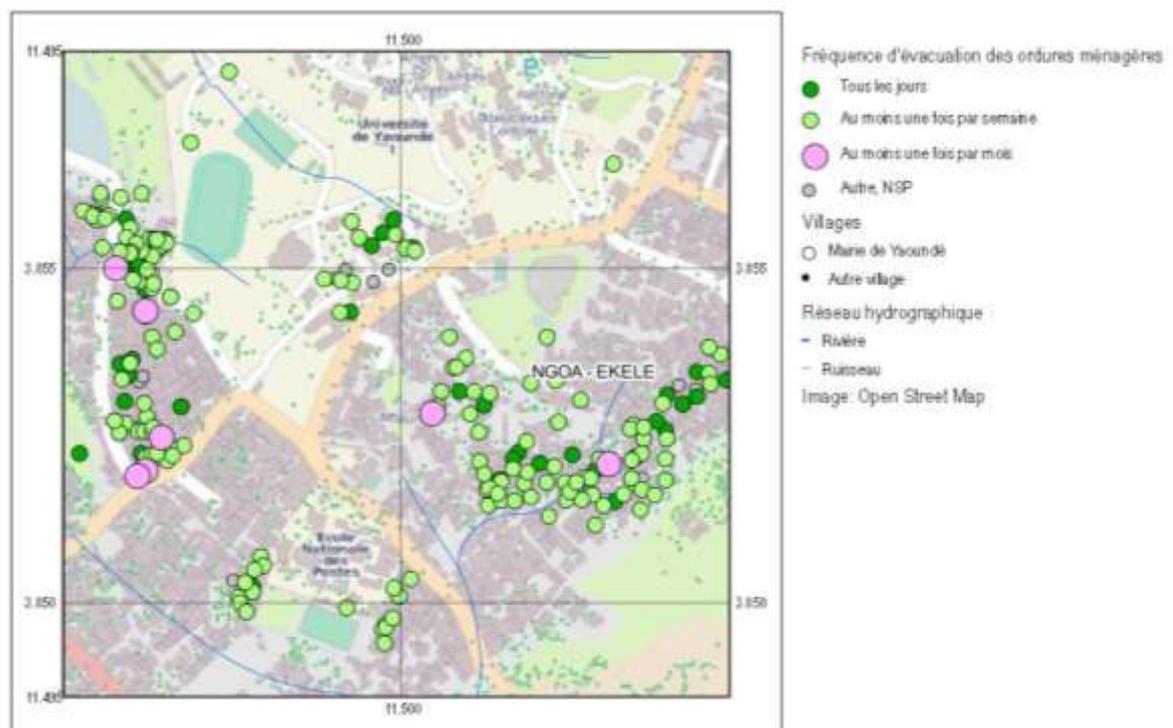
Source : INS/EPESS 2012



**Figure 79:** Fréquence d'évacuation des ordures ménagères – *Intervals for collection of domestic waste – Madagascar 1 / 10 000.*



**Figure 80:** Fréquence d'évacuation des ordures ménagères – *Intervals for collection of domestic waste – Messa Carrière 1 / 10 000.*



**Figure 81:** Fréquence d'évacuation des ordures ménagères – *Intervals for collection of domestic waste – Ngoa-Ekélé 1 / 10 000.*

## 6 Niveau d'exposition des ménages à la pollution et effets sur la santé - Level of exposition of households towards pollution and the effects on health

### 6.1 Structure socio-économique des ménages- Socio-economic structure of households

L'enquête auprès des ménages a permis de recueillir des informations concernant les membres des ménages, en particulier l'âge, le sexe, l'état matrimonial et le niveau d'instruction.

#### 6.1.1 Structure par sexe et par âge de la population - Distribution by age and gender

Tableau 42 présente la répartition par âge de la population des ménages enquêtés. Parmi les 4396 personnes identifiées dans les zones enquêtées. 2231 sont des hommes et 2165 des femmes; soit 51 % d'hommes et 49 % de femmes. Ce résultat est conforme à la structure que l'on retrouve habituellement dans les enquêtes auprès des ménages et recensements réalisés au Cameroun.

La distribution par âge montre que la population de Yaoundé est assez jeune avec 11.6% ayant moins de 5 ans contre 9.2 % âgés de 45 ans et plus. La répartition selon les zones d'étude montre que c'est dans les quartiers Messa Carrière et Madagascar que l'on retrouve le plus les enfants de moins de 5 ans avec respectivement 13.9% et 11.9%. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que ces deux quartiers sont des quartiers populaires contrairement aux autres.

**Tableau 42:** Structure par âge et selon le genre (en %) – *Distribution of age and gender; in %.*

	Zone d'étude					Ensemble Zone d'étude	Ensemble Yaoundé
	Ekoudou	Ngoa-Ekélé	Messa Carrière	Madagascar	Biyem Assi/Obili		
<b>Sexe</b>							
Masculin	46.2	58.3	52.9	49.8	49.3	52.2	50.8
Féminin	53.8	41.7	47.1	50.2	50.7	47.8	49.2
<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>
<b>Age</b>							
Moins de 5 ans	7.0	6.8	13.9	11.1	9.6	10.0	11.6
5-14 ans	19.6	14.0	15.5	23.0	19.1	18.4	20.9
15-24 ans	31.0	36.2	26.6	24.3	28.7	29.0	25.8
25-44 ans	29.7	39.7	35.5	31.4	30.1	34.0	32.5
45 ans et plus	12.7	3.3	8.4	10.1	12.4	8.6	9.2
<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>
<b>Effectif</b>	<b>158</b>	<b>484</b>	<b>380</b>	<b>612</b>	<b>282</b>	<b>1916</b>	<b>4396</b>

Source : INS/EPESS 2012

### 6.1.2 État civil - Civil status

Dans le cadre de cette enquête, sont considérés comme étant en union, tous les individus mariés légalement ou non et tous ceux qui vivent en union consensuelle. D'après cette définition, il y aurait autant de célibataires (47.2 %) que d'individus mariés ou en union consensuelle (47.8 %). Ceux en rupture d'union (veuf divorcé/séparé) représentent 5.0 %. Cette tendance est également observée dans les zones d'étude.

**Tableau 43:** État civil – *Civil status*; in %.

	Zone d'étude					Ensemble Zone d'étude	Ensemble Yaoundé
	Ekoudou	Ngoa-Ekéle	Messa Carrière	Madagascar	Biyem Assi/Obili		
Célibataire	41.1	54.3	57.5	39.7	57.8	49.7	47.2
Marié (e)	46.2	35.5	34.4	42.1	35.0	38.2	39.2
Veuf/veuve	0.6	3.4	3.3	7.0	1.1	3.9	3.7
Divorcé (e)/séparé (e)	3.2	1.1	2.2	0.3	2.2	1.4	1.3
En union libre	8.9	5.8	2.7	10.9	4.0	6.8	8.6
<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>
<b>Effectif</b>	<b>158</b>	<b>468</b>	<b>369</b>	<b>589</b>	<b>277</b>	<b>1861</b>	<b>4195</b>

Source : INS/EPESS 2012

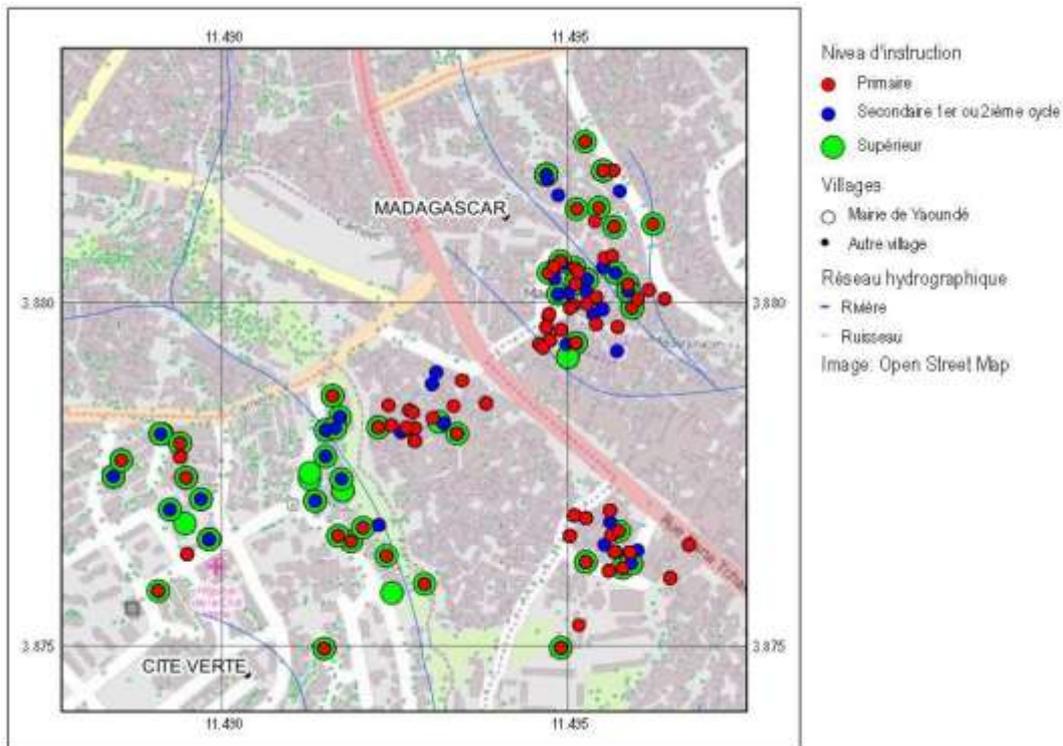
### *Niveau d'éducation des populations du niveau primaire au niveau universitaire – Level of education*

Dans l'ensemble, il n'existe pas une grande différence entre les individus des différents niveaux d'instruction. Seulement, il est remarqué que dans les quartiers, quelques disparités existent à Ngoa Ekellé (60.4 %) et dans une moindre mesure à Biyem-Assi/Obili (34.8 %), où les individus ont pour la plupart le niveau supérieur. Ceci pourrait s'expliquer par la proximité de ces quartiers de l'Université de Yaoundé I. Les personnes qui y vivent sont en majorité des étudiants ou des anciens étudiants.

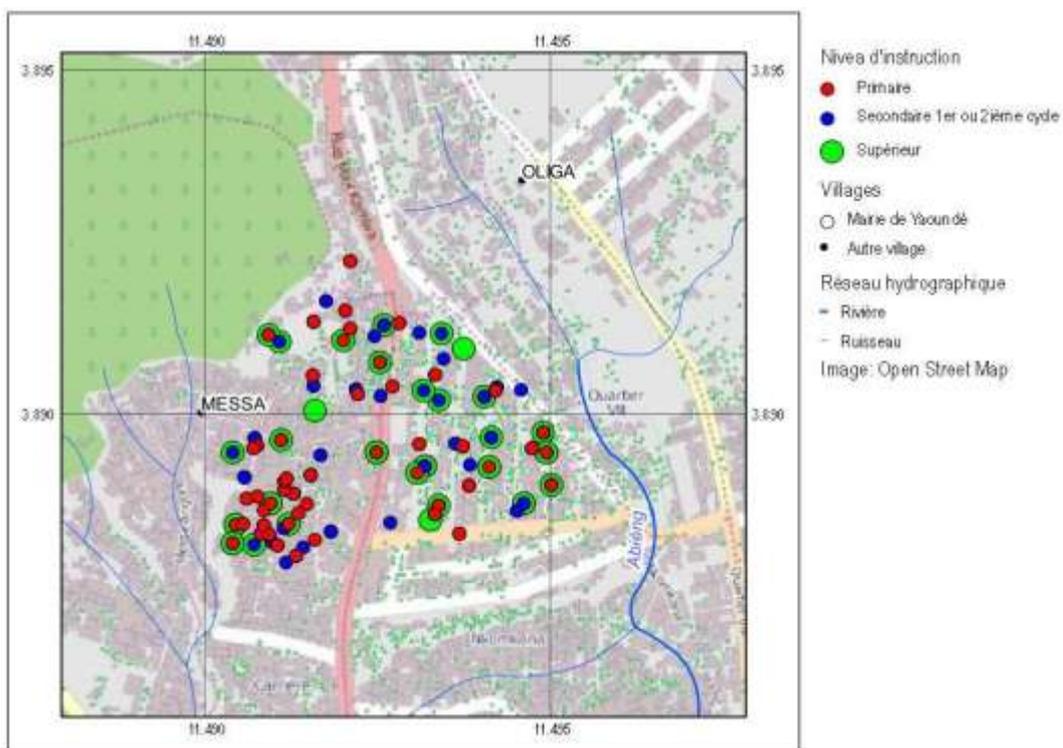
**Tableau 44:** Niveau d'éducation des populations dans les zones d'étude (en %) du niveau primaire au niveau universitaire – *Degree of formal training up to university level*; in %.

	Zone d'étude					Ensemble Zone d'étude	Ensemble Yaoundé
	Ekoudou	Ngoa-Ekéle	Messa Carrière	Madagascar	Biyem Assi/Obili		
Primaire	29.5	14.1	28.0	31.9	18.8	24.2	26.7
Secondaire 1er cycle	24.0	13.9	30.4	28.1	24.4	23.8	25.8
Secondaire 2nd cycle	24.0	11.6	26.1	21.9	22.0	20.1	22.9
Supérieur	22.6	60.4	15.5	18.1	34.8	31.8	24.6
<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>
<b>Effectif</b>	<b>146</b>	<b>447</b>	<b>322</b>	<b>508</b>	<b>250</b>	<b>1673</b>	<b>3774</b>

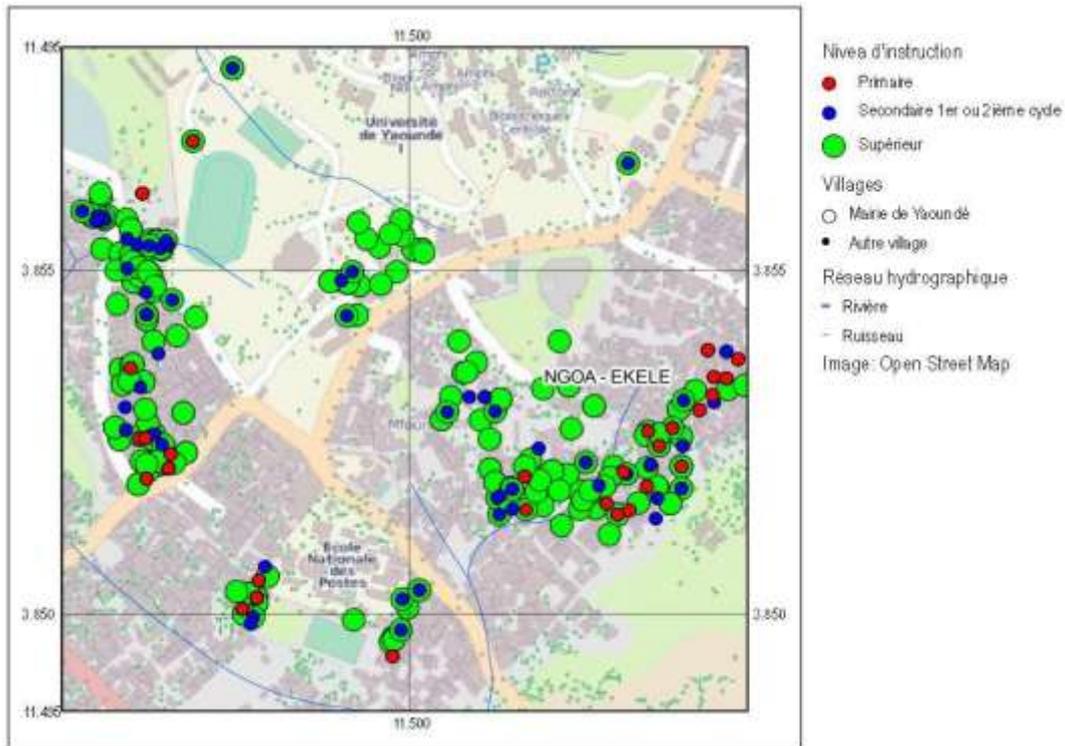
Source : INS/EPESS 2012



**Figure 82:** Niveau d'éducation des populations du niveau primaire au niveau universitaire - Level of Education – Madagascar 1 / 10 000.



**Figure 83:** Niveau d'éducation des populations du niveau primaire au niveau universitaire – Level of Education – Messa 1 / 10 000.



**Figure 84:** Niveau d'éducation des populations du niveau primaire au niveau universitaire - *Level of Education – Ngoa-Ekéle.*

### 6.1.3 Situation géographique du ménage - The geographical environment of households

La ville de Yaoundé, généralement appelée la ville aux sept collines a un relief montagneux. La population sans cesse croissante se confronte à un problème foncier dont l'une des conséquences est l'occupation des zones à risques telles que les flancs des collines qui les exposent aux risques permanents d'éboulements et d'inondation des bas-fonds marécageux. Les résultats de l'enquête EPESS montrent que plus de la moitié des habitations (50.2%) sont situées sur les versants des collines. Par contre, dans les espaces situés entre deux collines formant une zone quasi plate, une vallée, un bas-fond ou un marécage, on retrouve 49.8% des ménages.

**Tableau 45:** Situation géographique du ménage (en %) – *Location of the households in relation to terrain; in %.*

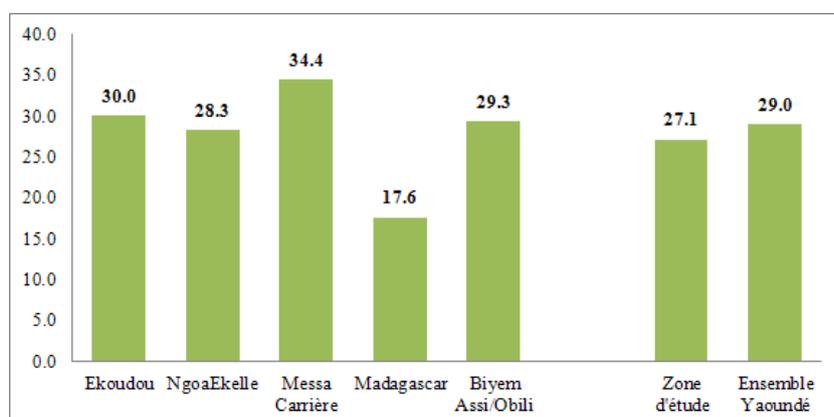
	Zone d'étude					Ensemble zone d'étude	Ensemble Yaoundé
	Ekoudou	Ngoa-Ekélé	Messa Carrière	Madagascar	Biyem Assi/Obili		
Sommet d'une montagne ou d'une colline	7.5	7.3	21.9	8.5	12.1	10.6	7.6
Versant aménagé d'une montagne ou d'une colline	5.0	27.5	9.4	25.4	25.9	22.1	23.1
Versant non aménagé d'une montagne ou d'une colline	47.5	27.0	16.7	20.8	19.0	24.4	19.5
Zone quasi plate	30.0	25.3	47.9	36.9	34.5	33.2	38.5
Vallée/bas-fonds/marécage	10.0	12.9	4.2	8.5	8.6	9.7	11.3
<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>
<b>Effectif</b>	<b>40</b>	<b>233</b>	<b>96</b>	<b>130</b>	<b>58</b>	<b>557</b>	<b>134</b>

Source : INS/EPESS 2012

## 6.2 L'environnement des ménages - The living environment of households

### 6.2.1 Presence of disturbances in the living environment - Présence d'installation ou d'activités provoquant une gêne à proximité du ménage

Au cours de l'enquête, il a été demandé aux ménages s'il y avait autour d'eux des installations ou des activités nuisibles. A cette question, 29.0 % d'entre eux ont affirmé être gênés par certaines installations ou activités présentes dans leur entourage. On observe que c'est à Messa-Carrière (34.4 %) que les ménages se sont le plus plaints des différents types de nuisances dans leur entourage. Les chiffres sont légèrement plus faibles à Ekoudou (30.0 %), Biyem-Assi/Obili (29.3 %) et Ngoa Ekélé (28.3 %).



**Figure 85:** Proportion de ménages ayant déclaré qu'il y a des installations ou installation gênantes dans leur entourage – *Disturbances (general) in the living environment of households.*

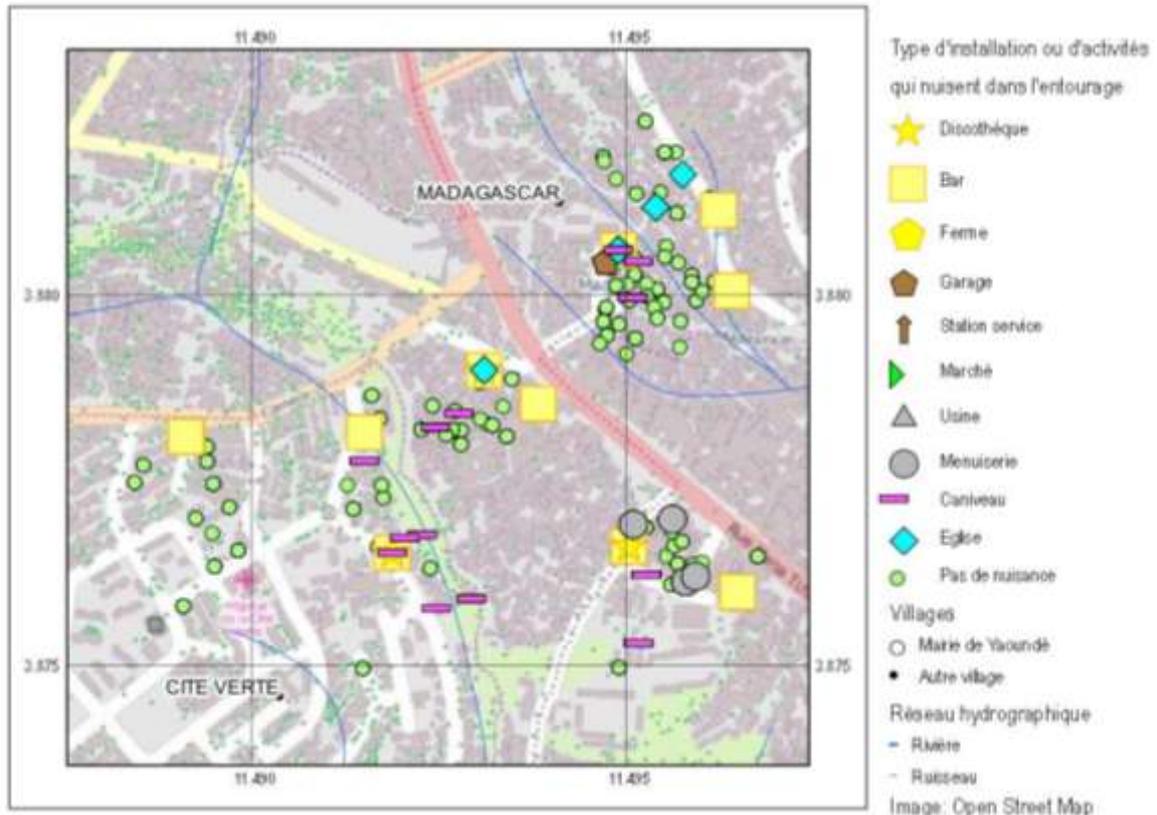
## 6.2.2 Type d'installations ou d'activités qui nuisent dans à proximité - Most frequent disturbances in the living environment

Les questions relatives aux types d'installations ou d'activités autour des ménages ont également été posées aux enquêtés. Parmi plusieurs modalités, il ressort que les bars (37.1 %) sont les activités qui provoquent le plus de nuisances aux ménages. Viennent ensuite les caniveaux non entretenus (22.5 %), les discothèques (13.9 %) et les églises. *Cela met en évidence le fait que le déversement des eaux usées est perçu comme une nuisance conséquente par une large partie de la population.*

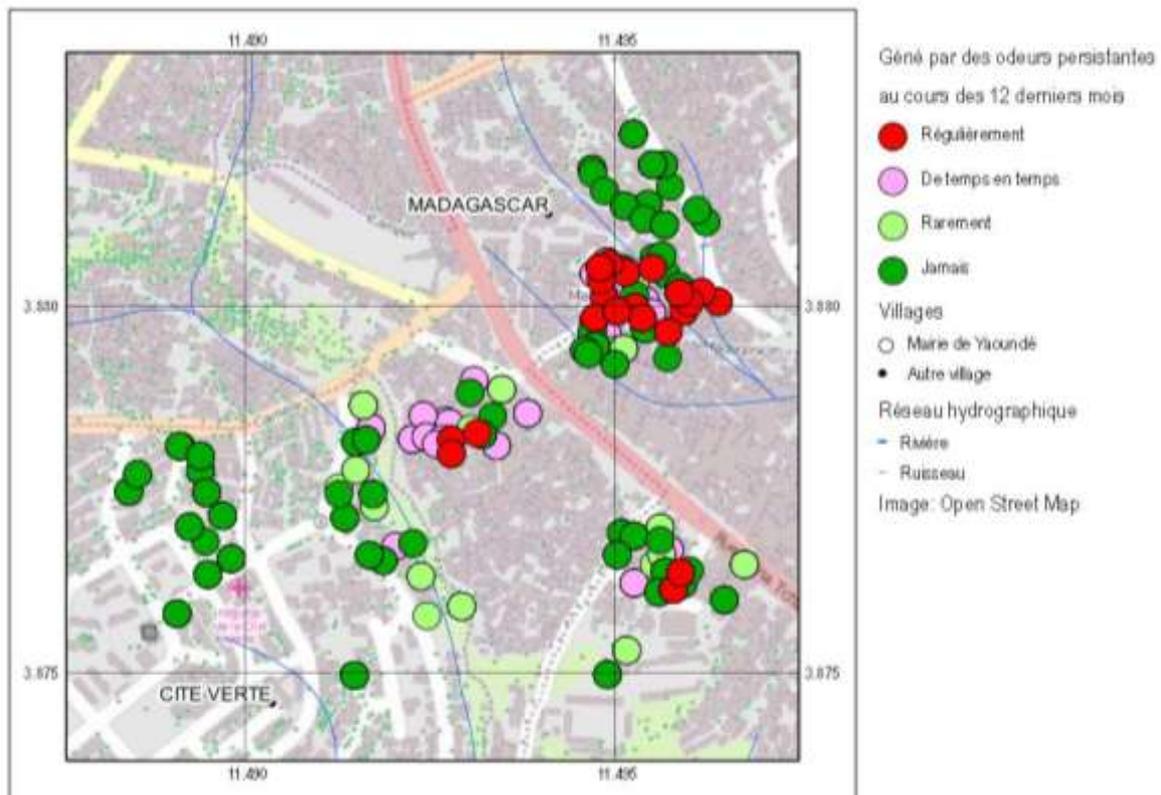
**Tableau 46:** Type d'installations ou d'activités qui nuisent dans à proximité – *Most frequent disturbances in the living environment* in %.

	Zone d'étude					Ensemble Zone d'étude	Ensemble Yaoundé
	Ekoudou	Ngoa- Ekélé	Messa Carrière	Madagascar	Biyem Assi/Obili		
Discothèque	8.3	15.2	9.1	13.0	23.5	13.9	13.1
Bar	16.7	33.3	45.5	34.8	52.9	37.1	30.4
Marché			6.1			1.3	1.5
Usine				4.3		0.7	1.5
Caniveau	50.0	19.7	15.2	30.4	17.6	22.5	23.7
Ferme	25.0	13.6	6.1		11.8	10.6	8.5
Garage		16.7			11.8	8.6	5.2
Menuiserie		4.5	12.1	13.0	11.8	7.9	5.5
Eglise	8.3	13.6	12.1	4.3	11.8	11.3	14.3
Autre	33.3	36.4	21.2	17.4	41.2	30.5	34.3
<b>Ensemble</b>							

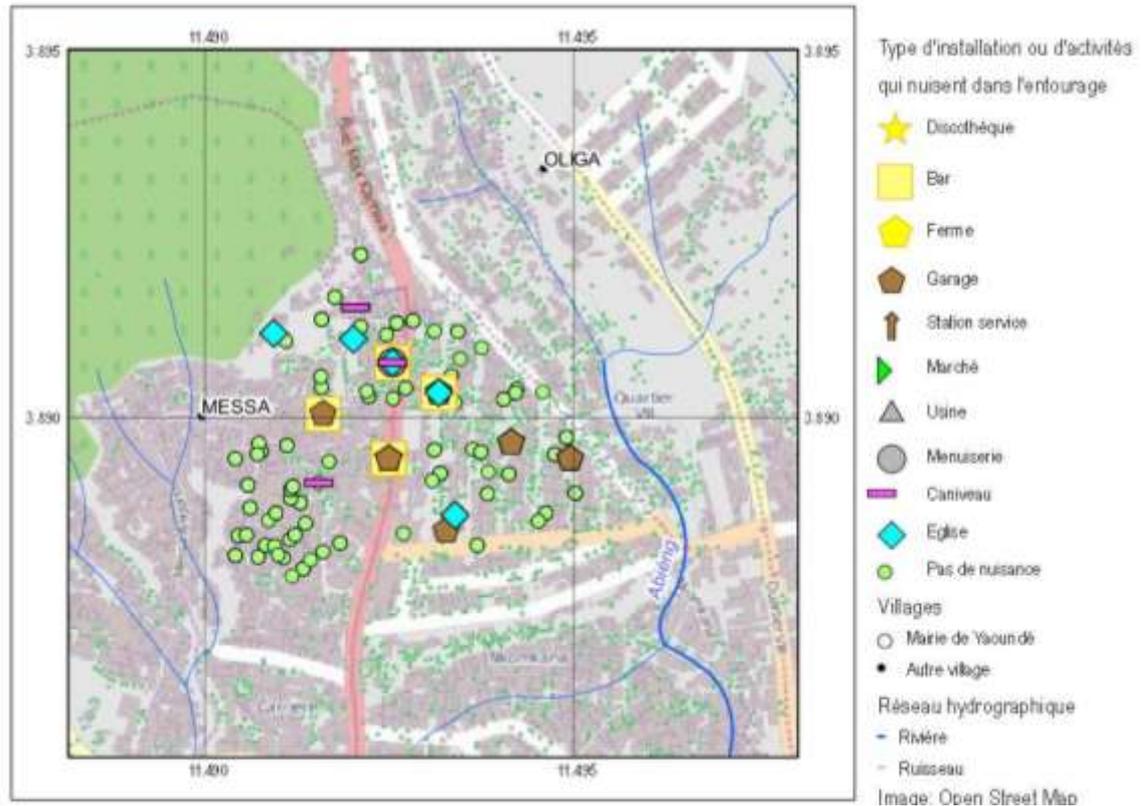
Source : INS/EPESS 2012



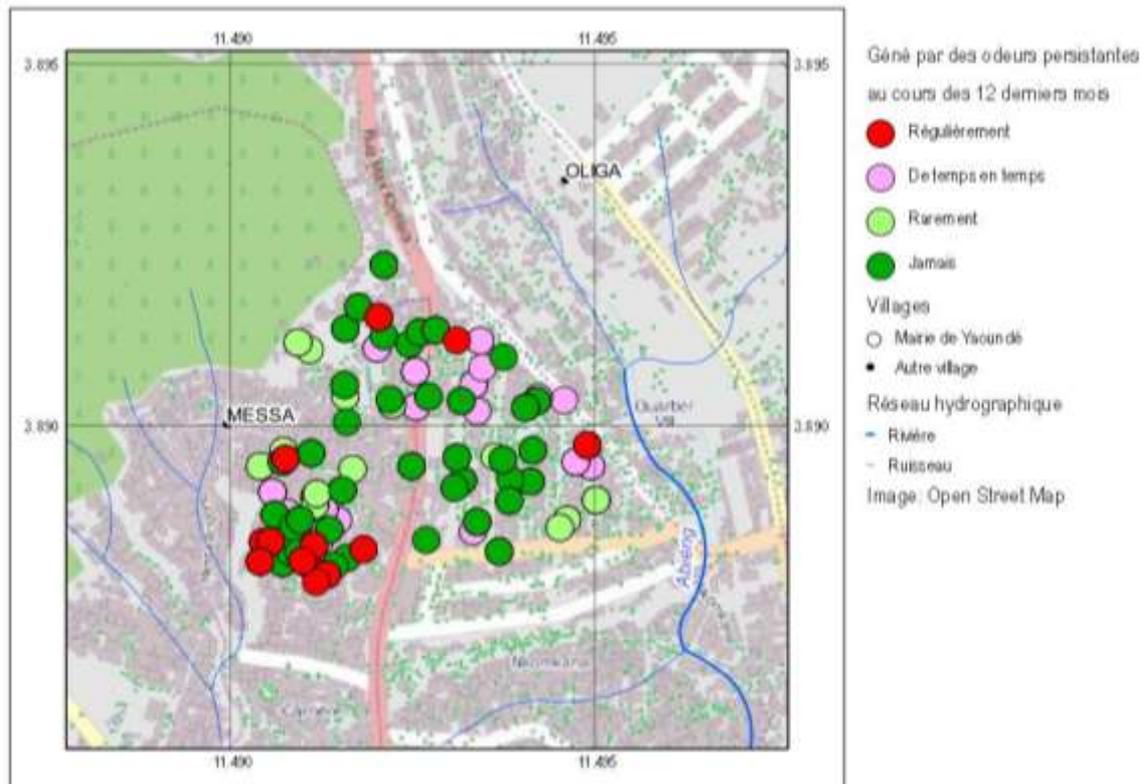
**Figure 86:** Type d'installations ou d'activités qui nuisent dans l'environnement – *Most frequent disturbances in the living environment – Madagascar 1 / 10 000.*



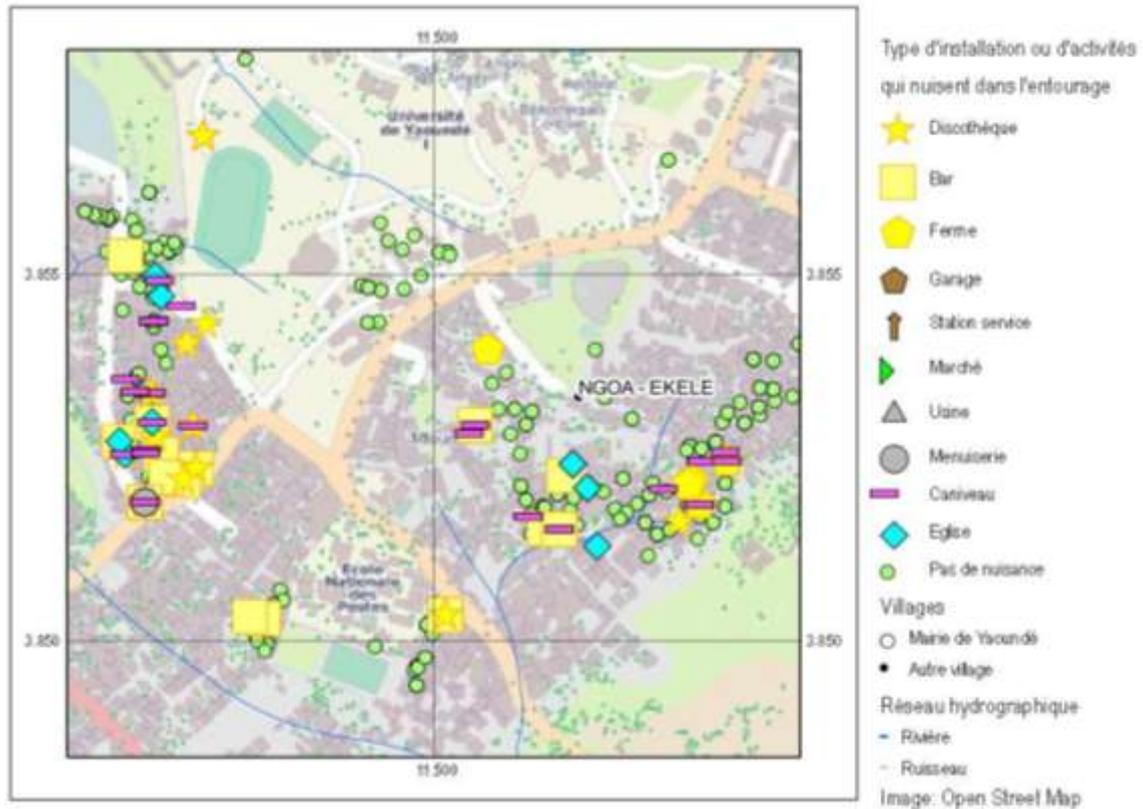
**Figure 87:** Gêne par des odeurs persistantes – *Inconvenience because of constant smells – Madagascar 1 / 10 000.*



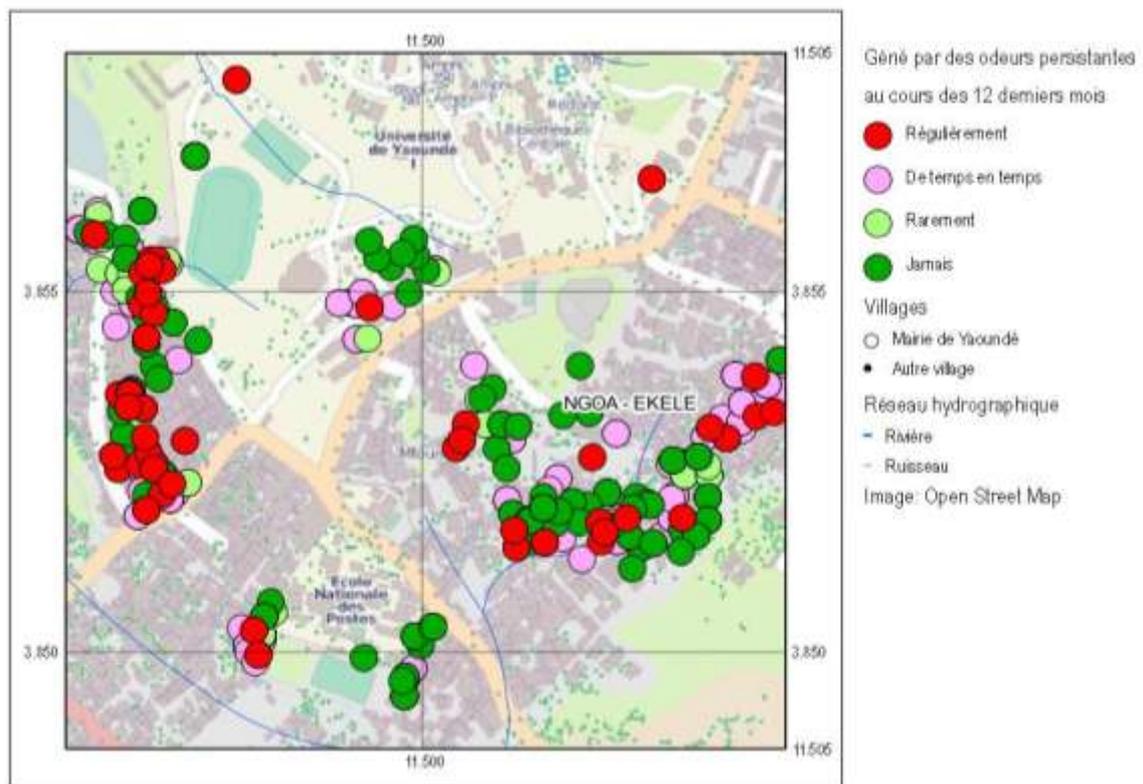
**Figure 88:** Type d'installations ou d'activités qui nuisent au cadre de vie – *Most frequent disturbances in the living environment* – MESSA.Carrière 1 / 10 000.



**Figure 89:** Gêne par des odeurs persistantes – *Inconvenience because of constant smells* – MESSA.Carrière 1 / 10 000.



**Figure 90:** Type d'installations ou d'activités qui nuisent au cadre de vie – *Most frequent disturbances in the living environment – Ngoa-Ekélé 1 / 10 000.*



**Figure 91:** Gêné par des odeurs persistantes – *Inconvenience because of constant smells – Ngoa-Ekélé 1 / 10 000.*

### 6.2.3 Énergie utilisée pour cuisiner - Energy used for cooking

Cinq sources d'énergie sont utilisées par les ménages pour faire la cuisine, à savoir le gaz, le bois, l'électricité, le pétrole et le charbon/sciure/copeaux de bois. La proportion des ménages qui les utilise s'établit respectivement à 71.6 %, 11 %, 1.6 %, 9.2 %, 4.1 % faisant ainsi du gaz la source d'énergie la plus utilisée dans la ville de Yaoundé. Cette tendance se vérifie dans chacune des zones d'étude. L'utilisation du bois de chauffe par une proportion assez importante de la population de la ville de Yaoundé pose non seulement le problème de la pauvreté des ménages, mais également celui lié à l'environnement du milieu urbain, avec la fumée dégagée qui aurait des effets sur la santé respiratoire

**Tableau 47:** Énergie utilisée pour cuisiner - *Energy used for cooking*; in %.

	Zone d'étude					Ensemble Zone d'étude	Ensemble Yaoundé
	Ekoudou	Ngoa- Ekélé	Messa Carrière	Madagascar	Biyem Assi/Obili		
Ne fait pas la cuisine	2.5	2.6	2.1	4.6		2.7	2.5
Bois (acheté. ramassé ou reçu)	5.0	10.7	19.8	16.8	6.9	12.9	11.0
Gaz	75.0	72.1	59.4	64.9	74.1	68.6	71.6
Electricité		2.1	1.0			1.1	1.6
Pétrole %danger?!	12.5	9.0	13.5	7.6	15.5	10.4	9.2
Charbon/sciure/copeaux de bois	5.0	3.4	4.2	6.1	3.4	4.3	4.1
<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>
<b>Effectif</b>	<b>40</b>	<b>233</b>	<b>96</b>	<b>131</b>	<b>58</b>	<b>558</b>	<b>1136</b>

Source : INS/EPESS 2012

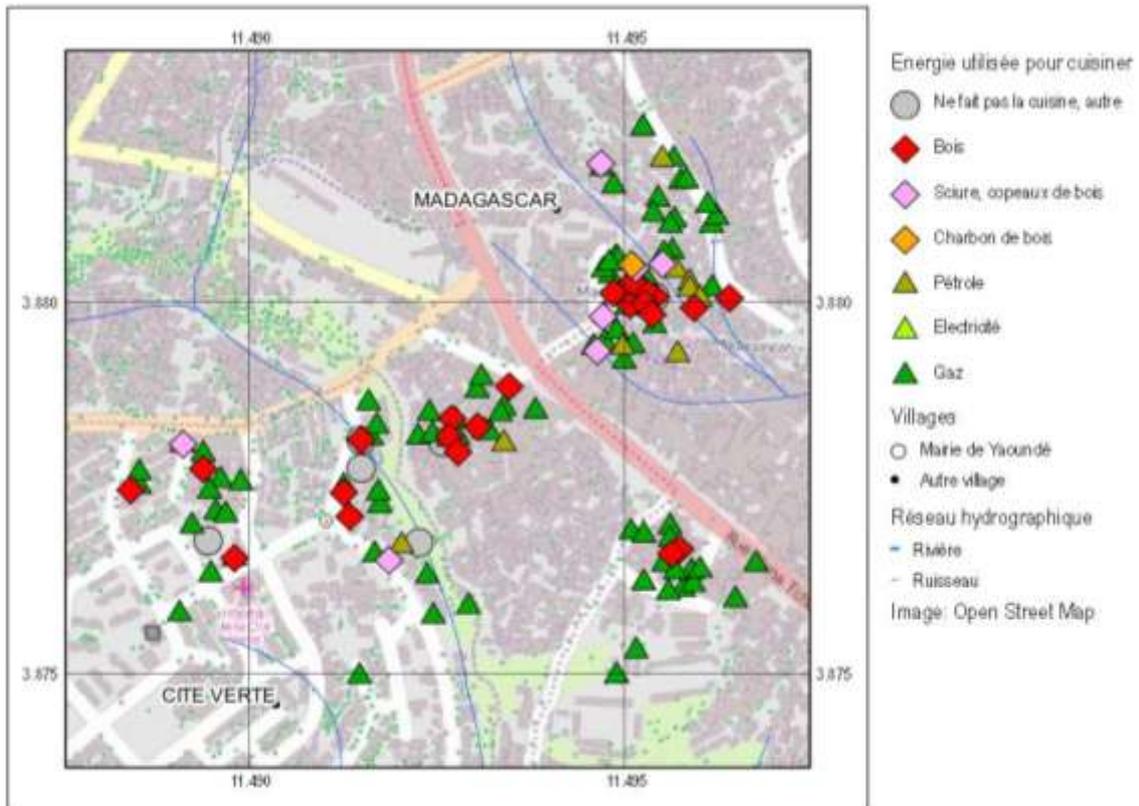


Figure 92: Energie utilisée pour cuisiner – Energy used for cooking – Madagascar 1 / 10 000.

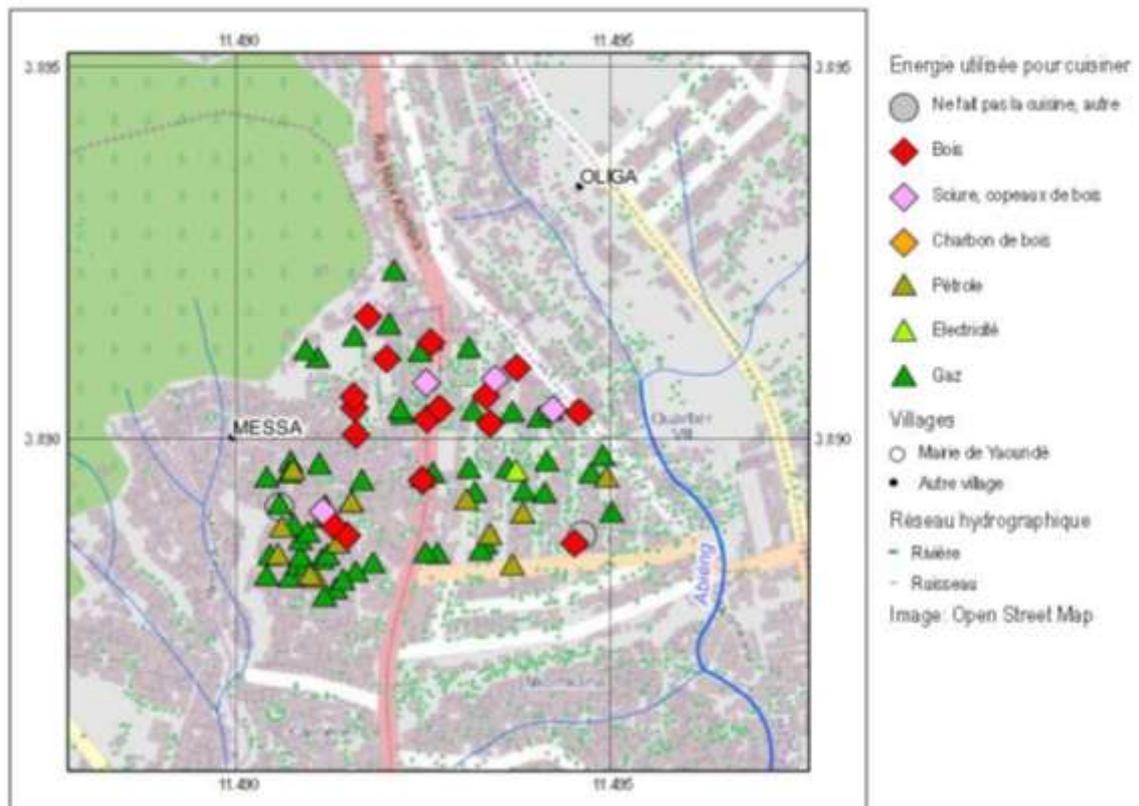


Figure 93: Energie utilisée pour cuisiner – Energy used for cooking – Messa 1 / 10 000.

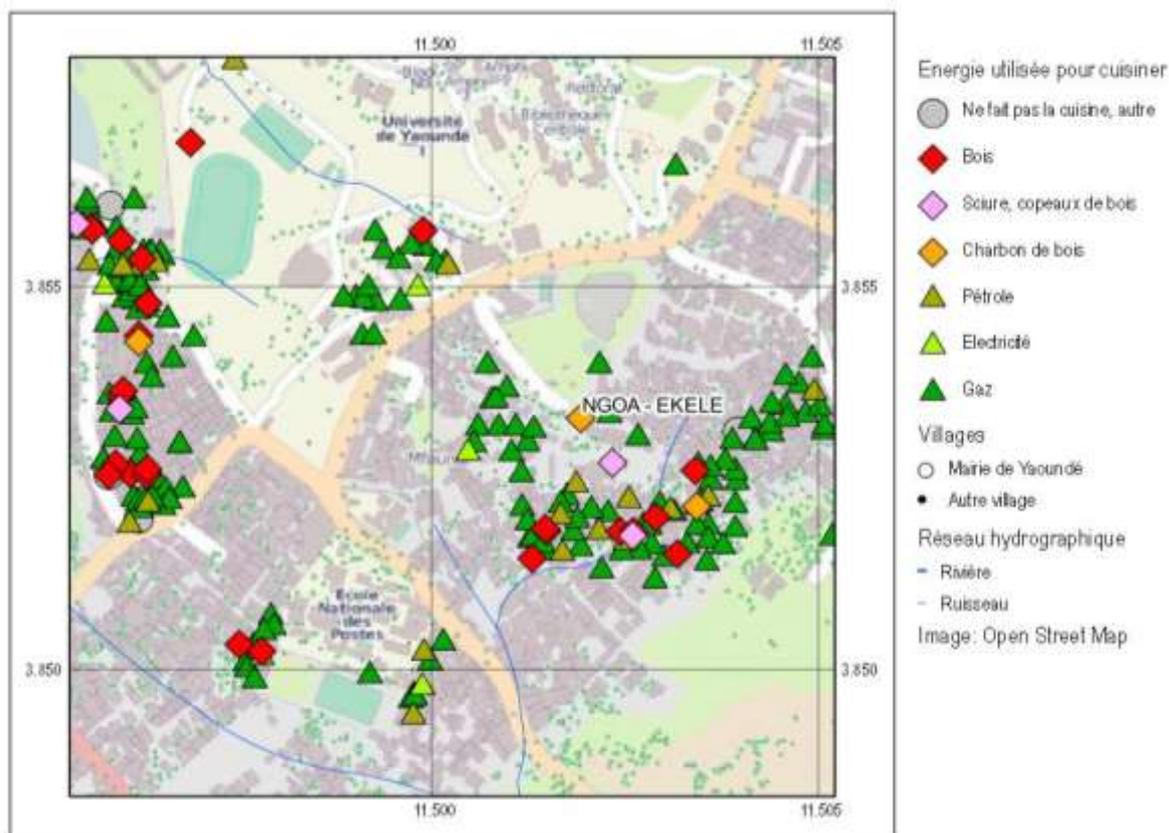


Figure 94: Energie utilisée pour cuisiner – Energy used for cooking – Ngoa-Ekélé 1 / 10 000.

Carte thématique 24: Energie utilisée pour cuisiner en annexe.

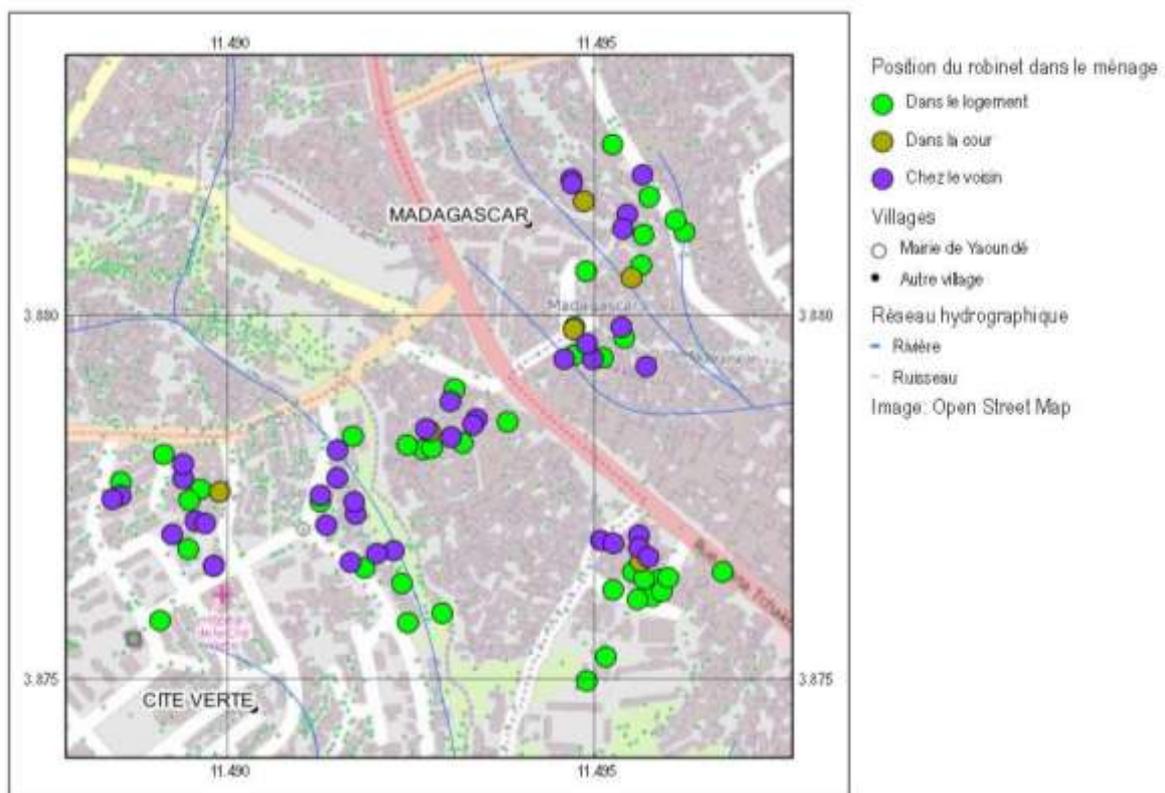
#### 6.2.4 Position du robinet dans le ménage - Proximity of tap water to households –

La position du robinet dans le ménage est non seulement un signe de confort, mais également une facilité pour les membres du ménage lorsque ce robinet est à l'intérieur de l'habitation. Il ressort des résultats que le robinet utilisé par le ménage peut se trouver dans le logement, dans la cour ou chez le voisin. Les ménages qui ont leurs robinets dans leurs logements représentent 41.0 % et 39.5 % s'approvisionnent chez le voisin, tandis que 19.5 % ont un robinet dans la cour. Ces pourcentages pourraient expliquer non seulement les problèmes d'approvisionnement en eau du logement, mais également ceux d'hygiène et d'assainissement des toilettes modernes, qui nécessitent l'utilisation de l'eau par le système de chasse d'eau.

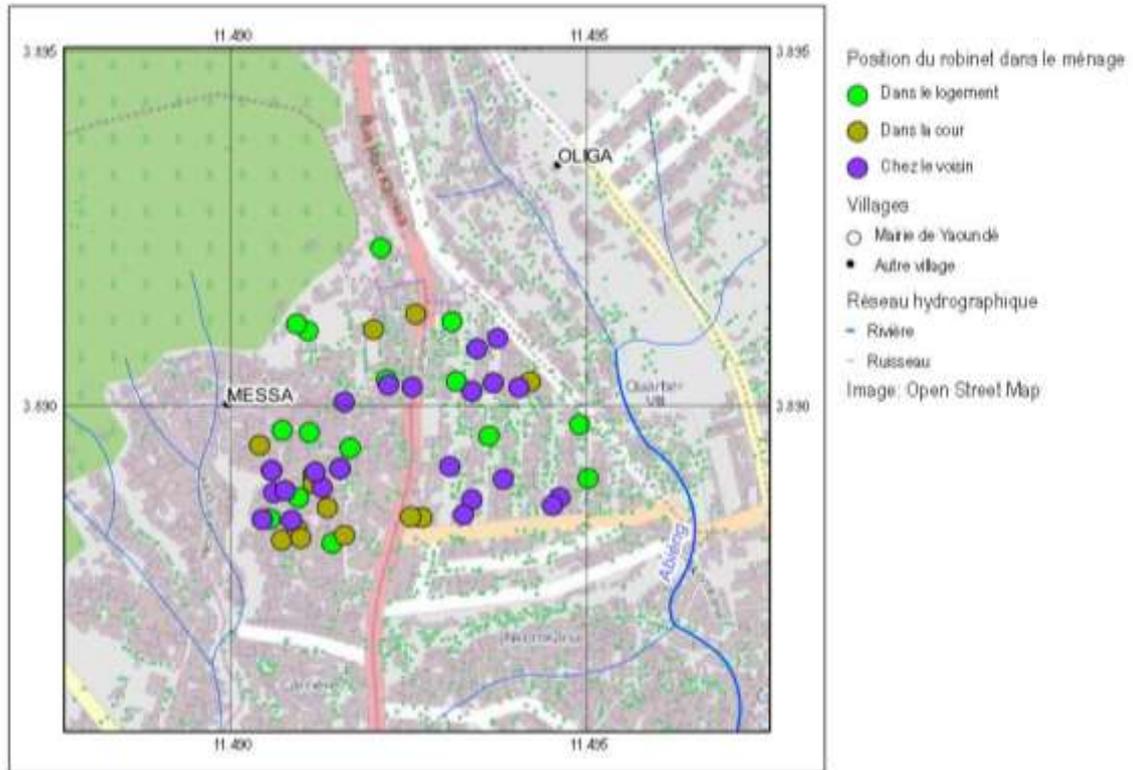
**Tableau 48:** Position du robinet dans le ménage (en %) - *Proximity of tap water to households*; in %.

	Zone d'étude					Ensemble Zone d'étude	Ensemble Yaoundé
	Ekoudou	Ngoa- Ekélé	Messa Carrière	Madagascar	Biyem Assi/Obili		
Dans le logement	36.7	22.0	32.1	48.2	25.6	31.0	41.0
Dans la cours	16.7	28.7	23.2	7.1	20.9	21.2	19.5
Chez le voisin	46.7	49.4	44.6	44.7	53.5	47.9	39.5
<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>
<b>Effectif</b>	<b>30</b>	<b>164</b>	<b>56</b>	<b>85</b>	<b>43</b>	<b>378</b>	<b>827</b>

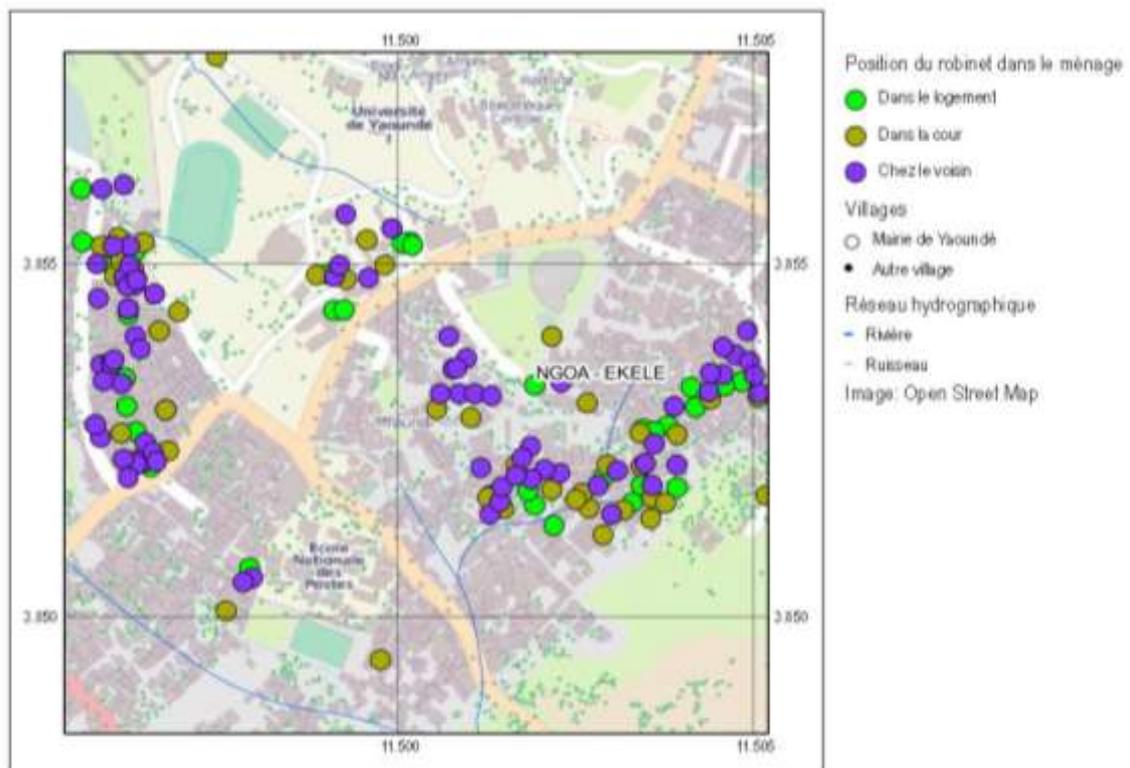
Source : INS/EPESS 2012



**Figure 95:** Position du robinet dans le ménage – *Proximity of tap water to household* – Madagascar 1 / 10 000.



**Figure 96:** Position du robinet dans le ménage – Proximity of tap water to household – MESSA Carrière 1 / 10 000.



**Figure 97:** Position du robinet dans le ménage – Proximity of tap water to household – Ngoa-Ekéle 1 / 10 000.

### 6.2.5 Co-utilisation du robinet avec d'autres ménages - Shared use of taps

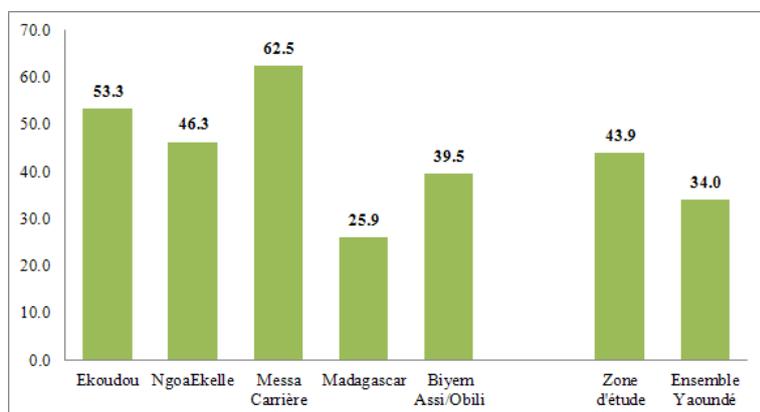
La vie communautaire au Cameroun, et plus précisément dans la ville de Yaoundé, pousse certains ménages à partager leurs robinets avec les voisins. Au cours de l'enquête EPESS, 60.9 % des ménages enquêtés déclarent qu'ils partagent leurs robinets avec d'autres ménages. Ce phénomène est le plus accentué à Ngoa-Ekélé qui est un quartier composé très majoritairement d'étudiants, suivi de Biyem-Assi et de Messa-Carrière.



**Figure 98:** Proportion des ménages utilisant le robinet avec d'autres ménages – *Proportion of shared use of taps.*

### 6.2.6 Commercialisation de l'eau par le ménage - Reselling tap water

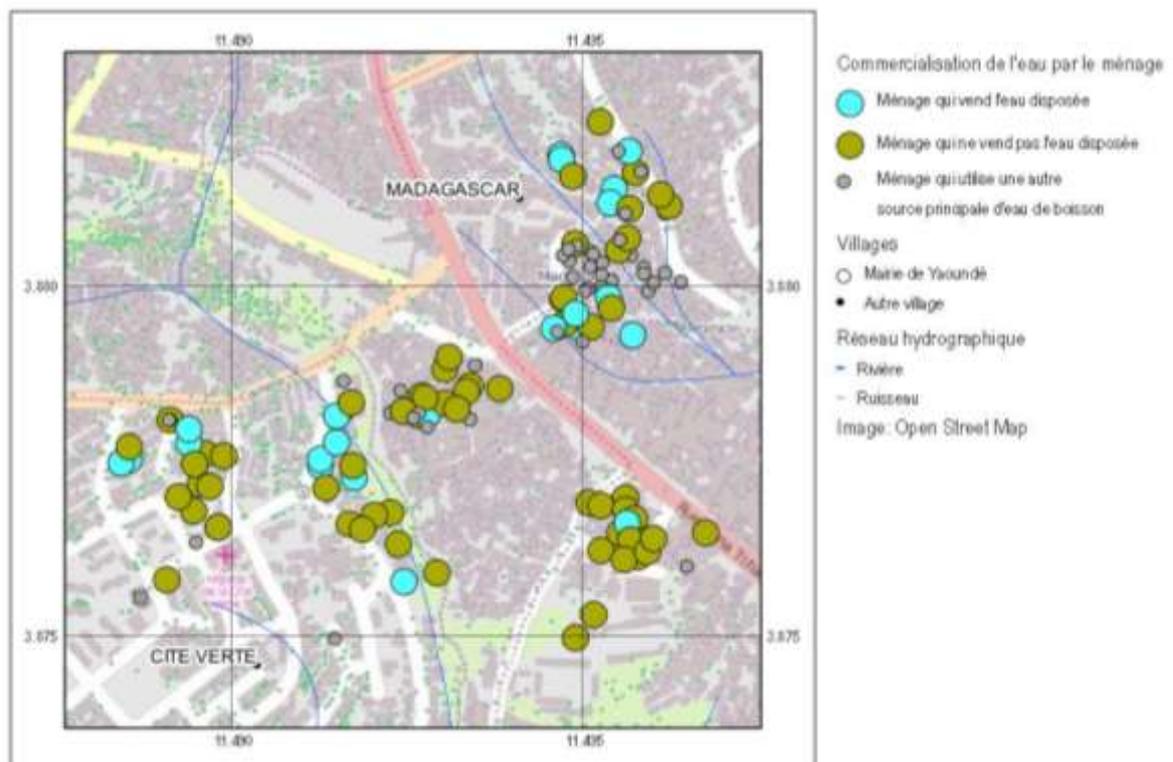
L'enquête EPESS a eu aussi pour préoccupation de s'interroger sur l'existence d'une activité commerciale autour de l'eau par les ménages. Des résultats obtenus, il ressort que près de 34.0 % des ménages à Yaoundé commercialisent de l'eau. Cette proportion est relativement plus élevée dans la zone de Messa-Carrière (62.5 %) et d'Ekoudou (53.3 %). Ceci peut s'expliquer par l'existence d'un grand marché dans la zone de Messa-Carrière et par l'extension insuffisante du réseau de distribution d'eau courante dans le quartier d'Ekoudou.



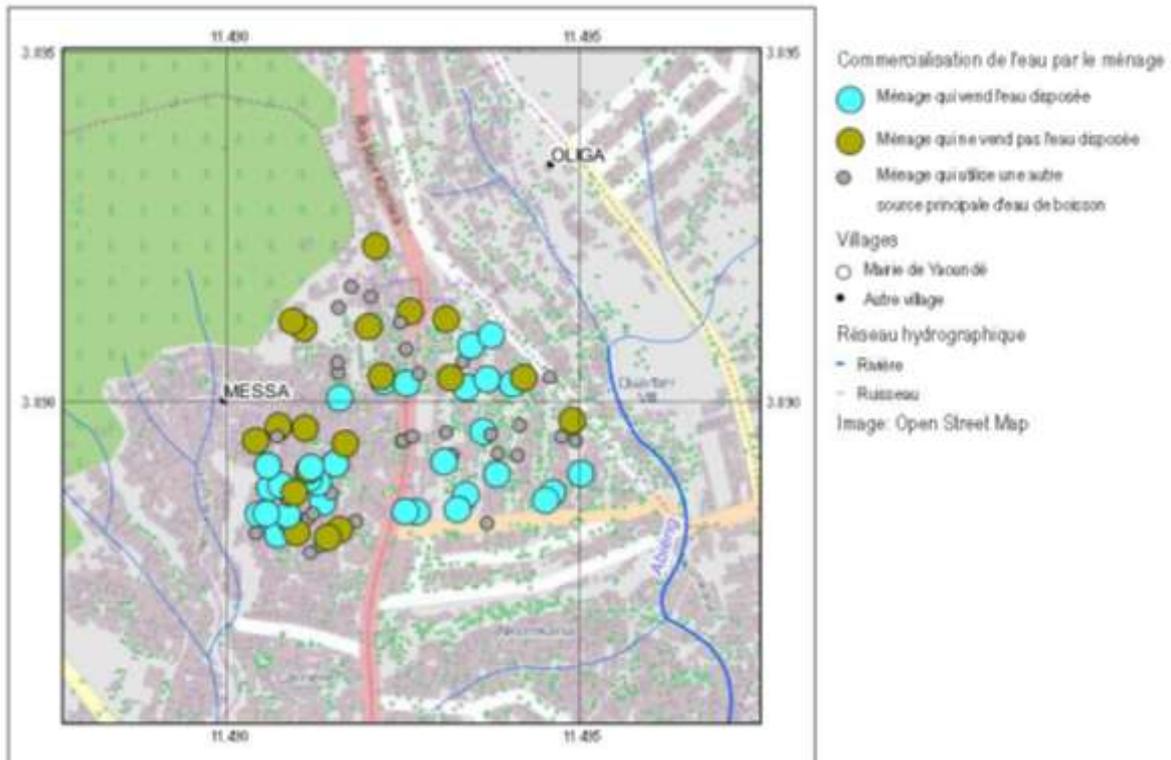
**Figure 99:** Proportion des ménages commercialisant l'eau – *Percentage of households selling water.*



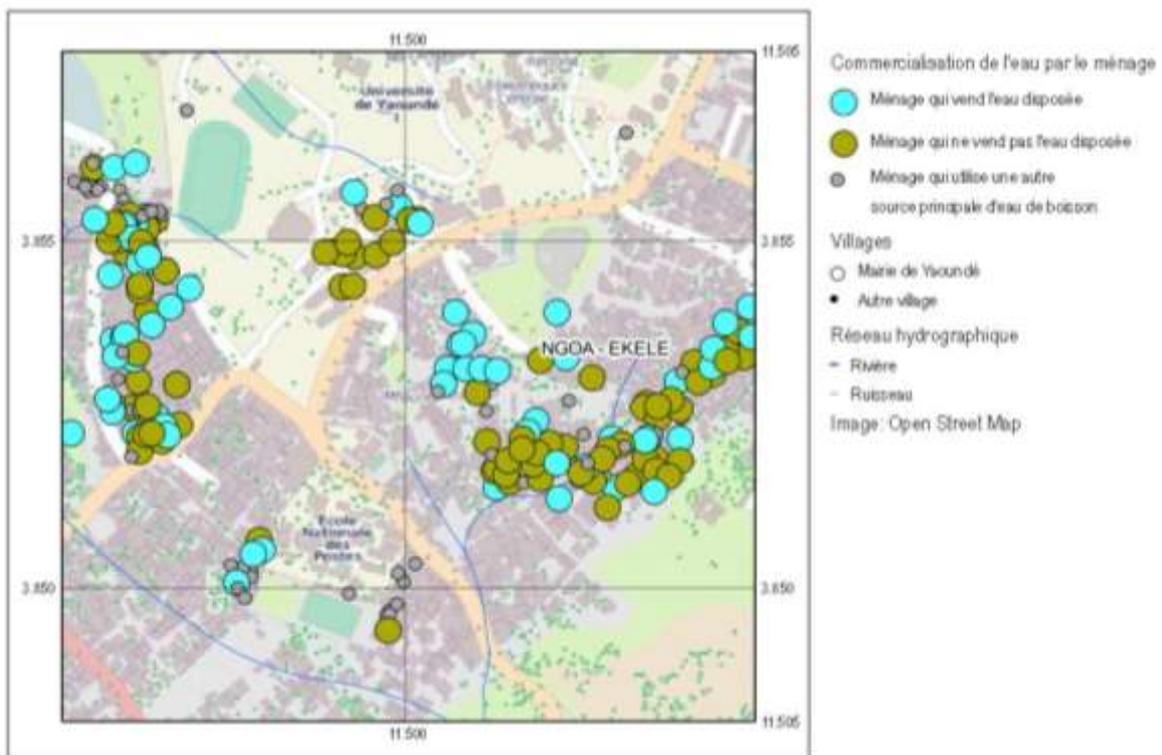
**Figure 100:** (à gauche) Vendeur d'eau à Madagascar (décembre 2011) ; (à droite) en attente de la remise en fonctionnement du réseau, rue Max Kamwa (avril 2012) – (left) Selling water at Madagascar (December 2011), (right) Waiting for the functioning of the network at Rue Max Kamwa (April 2012).



**Figure 101:** Commercialisation d'eau de boisson – Households reselling tap water – Madagascar 1 / 10 000.



**Figure 102:** Commercialisation d'eau de boisson – Households reselling tap water – MESSA Carrière 1 / 10 000.



**Figure 103:** Commercialisation d'eau de boisson – Households reselling tap water – Ngoa-Ekélé 1 / 10 000.

## 6.2.7 Proximité du puits ou de source du logement et position par rapport aux toilettes

### 6.2.7.1 Position du puits ou de la source par rapport aux toilettes

La proximité d'un puits ou d'une source des toilettes ainsi que la distance entre les deux peut altérer la qualité des eaux de ce puits ou de cette source, à travers la contamination bactériologique par matières fécales de ces toilettes, surtout lorsque ces sources d'eau sont situées en aval de celles-ci. Des études menées au Cameroun et même à Yaoundé ont montré que plusieurs sources d'eau potable pour les ménages ont un niveau élevé de pollution microbiologique (Kuitcha et al. 2010).

Au cours de l'enquête EPESS, la question a été posée aux ménages enquêtés sur la position du puits ou la source utilisée par le ménage par rapport aux toilettes. Il est ressorti que dans la zone d'étude, 46 % de ménages disposent d'un puits ou d'une source situé en aval des toilettes. Ceci est préjudiciable pour ces sources ou puits et expliquerait le niveau de contamination des échantillons d'eau examinés lors de cette étude. Comme il a été dit dans les études antérieures (chapitre 1.6), la présence des systèmes sanitaires autonomes augmente les risques de contamination de l'eau de surface et souterraine (Coulibaly et al. 2004, Kuitcha et al. 2008, Ndjama et al. 2008). En ce qui concerne la distribution de cette variable selon les quartiers, presque tous les quartiers sauf Madagascar se situent au dessus de cette moyenne. Biyem-Assi/Obili se distingue particulièrement des autres quartiers avec près de 6 ménages sur 10 (58 %) ayant des puits ou sources situés en aval des toilettes.

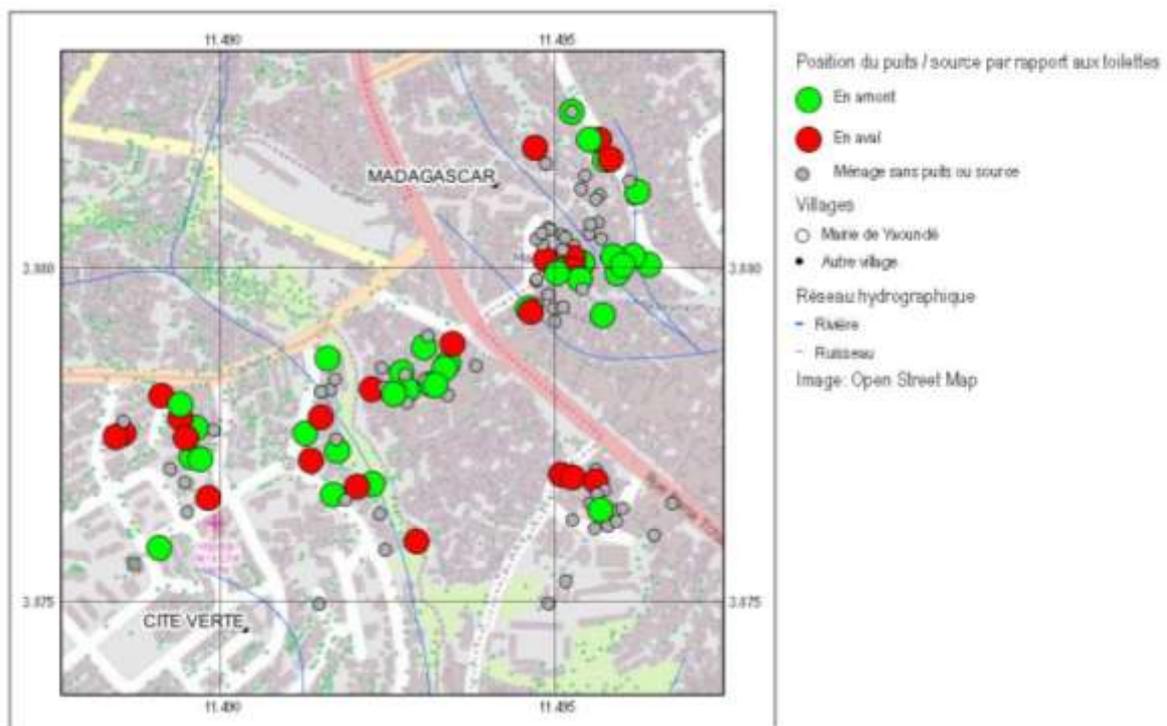
**Tableau 49:** Position du puits ou de la source par rapport aux toilettes (en %) – *Position of spring or source related to toilet ; in %.*

	Zone d'étude					Zone d'étude	Ensemble Yaoundé
	Ekoudou	Ngoa-Ekélé	Messa Carrière	Madagascar	Biyem Assi/Obili		
En amont	53.8	52.2	53.7	61.4	41.7	54.4	49.6
En aval	46.2	47.8	46.3	38.6	58.3	45.6	50.4
<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>
<b>Effectif</b>	<b>26</b>	<b>90</b>	<b>54</b>	<b>57</b>	<b>12</b>	<b>239</b>	<b>466</b>

Source : INS/EPESS 2012



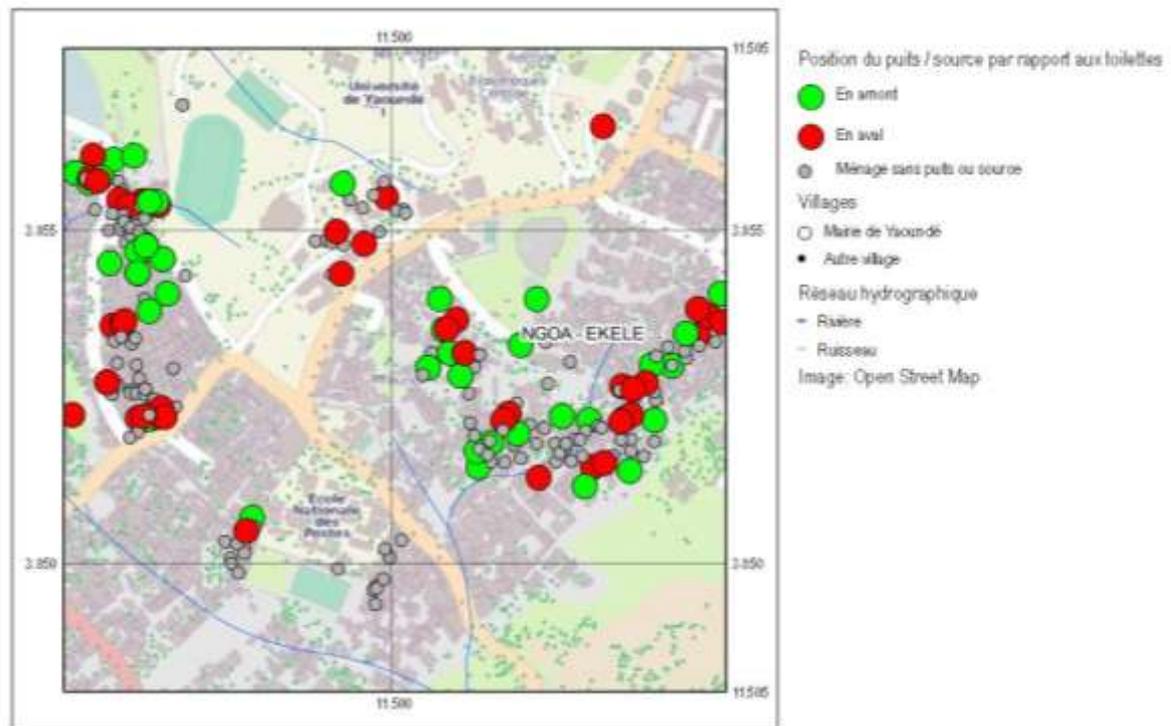
**Figure 104:** Nombreuses toilettes à fosse situées en amont de la source d’Apollo à Messa-Carrière – Numerous pit-toilets situated upstream of the Apollo spring area at Messa-Carrière.



**Figure 105:** Position du puits ou de la source par rapport aux toilettes – Position of well or spring related to toilet – Madagascar 1 / 10 000.



**Figure 106:** Position du puits ou de la source par rapport aux toilettes – *Position of well or spring related to toilet – Messa-Carrière 1 / 10 000.*



**Figure 107:** Position du puits ou de la source par rapport aux toilettes – *Position of well or spring related to toilet – Ngoa-Ekélé 1 / 10 000.*

### 6.2.7.2 *Distance entre le puits ou la source et les toilettes*

La distance recommandée entre les toilettes et une source d'eau (puits, source) est d'au moins 15 m. Pendant l'enquête EPESS, les résultats ont montré que 58.3 % de ménages dans la zone d'étude sont situés près d'un puits ou d'une source ne respectant pas cette norme. Les ménages de Madagascar (61.4 %), Biyem-Assi/Obili (58.3 %) et dans une moindre mesure Ekoudou (46.2 %), ne respectent pas cette norme, d'où l'exposition de leurs membres aux risques de maladies hydriques.

**Tableau 50:** Distance entre le puits/source et les toilettes – *Distance between the spring or source and the toilet*; in %.

	Zone d'étude					Zone d'étude	Ensemble Yaoundé
	Ekoudou	Ngoa-Eké	Messa-Carrière	Madagascar	Biyem Assi/Obili		
Moins de 15 m	46.2	33.0	33.3	61.4	58.3	42.5	40.6
15 m et plus	53.8	67.0	66.7	38.6	41.7	57.5	59.4
<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>
<b>Effectif</b>	<b>26</b>	<b>91</b>	<b>54</b>	<b>57</b>	<b>12</b>	<b>240</b>	<b>468</b>

Source : INS/EPESS 2012

### 6.3 Influence des paramètres physico-chimiques et bactériologiques sur les ménages

A travers des prélèvements des échantillons d'eau dans la zone d'étude, un certain nombre de paramètres physico-chimiques dans les eaux souterraines et de surface de la ville de Yaoundé a été analysé. Ici la méthodologie a consisté à isoler les ménages des zones d'études de ceux du reste de la ville de Yaoundé. Chacun de ces ménages a été rattaché à un point de prélèvement le plus proche par un tableau croisé.

Il est à noter que ces prélèvements ont été effectués pendant la « saison sèche ». Durant cette période, le risque de contamination des eaux souterraines est généralement moins élevé que pendant la saison des pluies.

#### 6.3.1 Influence de l'Escherichia coli (E.coli)

*E. coli* est une bactérie qui atteste de la présence de matières fécales « fraîches ». Cette bactérie n'est en principe pas pathogène et sert d'indicateur de contamination d'origine fécale (voir chapitre 4.1.1). Dans l'ouvrage Drinking Water Guidelines (directives pour les eaux potables) de 1997 (l'OMS 1997), les concentrations en *E. coli* mesurées ont été classées en cinq catégories, pour juger du niveau de dangerosité des échantillons d'eau. L'eau potable est jugée propre à la consommation (« in conformity ») lorsqu'aucun *E. coli* n'est détecté dans 100°ml d'eau d'échantillon. Les cinq niveaux de dangerosité s'échelonnent de manière suivante : « faible » pour 1-10 *E. coli*/100mL, « moyenne » pour 10-100 *E. coli*/100°ml, « risque important » pour 100-1000 *E. coli*/100°ml et « risque très important » pour des quantités d'*E. coli* supérieures à 1000 *E. coli*/100°ml.

Pour obtenir un aperçu de la répartition spatiale des groupes de sites d'étude et de la qualité de l'approvisionnement en eau local dans les ménages, les résultats d'analyses de qualité de l'eau, effectuées dans le cadre de la campagne de prélèvements d'avril 2012, ont été recoupés avec le mode d'approvisionnement cité par les ménages interrogés dans les groupes de sites d'étude (tableau 53). Du fait que l'eau du robinet n'a pas été étudiée.

**Tableau 51:** Niveau approximatif de risque decontamination de l'eau par l'*E. coli* selon la zone d'étude pendant la saison sèche (en %) – *Approximate level of risk of groundwater contamination by E. coli by spatial cluster during dry season; in %.*

<i>E. coli</i> in WHO-classes	In conformity	Low risk	Intermédiaire risk	Very high risk	Total	Effectif
<b>Zone d'étude</b>						
Ngoa-Ekéle	60	20	20	0.0	100.0	238
Messa-Carrière	45	55	0.0	0.0	100.0	75
Madagascar	35	40	25	0.0	100.0	139

Source : INS/EPESS 2012

Malgré le nombre d'échantillons d'eau réduit et de la quantité variable des ménages considérés par groupe de sites d'étude, les données dessinent une tendance. Une interprétation pertinente est cependant prématurée, au vu de la petite quantité de prélèvements.

Si l'on observe les résultats de Ngoa-Ekélé, Messa-Carrière et Madagascar (Tableau 51), on s'aperçoit qu'à la fin de la saison sèche, 35 à 60 % des ménages consomment de l'eau provenant d'un approvisionnement local qui répond aux conditions d'hygiène requises. Si l'on considère la catégorie correspondant à un risque faible, ce sont 80 % des ménages à Ngoa-Ekélé, 100 % (75 ménages) à Messa-Carrière et 75 % à Madagascar. Comme les sources et puits non couverts ne se trouvent pas contaminés durant la saison sèche par les eaux de pluie ni lessivés, on peut supposer que les résultats varieraient durant la saison des pluies et que la proportion d'échantillon à risque important serait plus élevée.

C'est dans le stockage de l'eau que les possibilités d'amélioration sont les plus grandes. De nombreux ménages qui font l'objet de coupures d'eau fréquentes stockent l'eau ou puisent l'eau des sites d'approvisionnement locaux qu'ils conservent dans des jerricans (Figure 47, Figure 49, Figure 100), qu'ils vont ensuite transporter dans les habitations et stocker jusqu'à leur consommation (voir aussi chapitre 0 (Mode de stockage) et 6.2.6 (commercialisation de l'eau)). L'eau est souvent sujette à contamination lorsqu'elle est extraite/soutirée du jerrican, les procédures de manipulation des eaux stockées étant assez mal connues. L'ouvrage l'OMS a fondé le Network<sup>32</sup> on Householdwater Storage and Treatment (réseau de stockage et de traitement des eaux ménagères) qui aspire à améliorer l'approvisionnement en eau dans les foyers, afin de combattre ce problème d'envergure mondiale.

### 6.3.2 Influence du coliforme fécal

Les coliformes fécaux, de même que les *E. coli* sont des bactéries faisant partie des coliformes totaux. On les retrouve généralement dans les matières fécales. Leur présence dans l'eau indique une contamination récente par des matières fécales et une possible présence de bactéries, virus et protozoaires potentiellement pathogènes. L'enquête a révélé que la plupart des ménages enquêtés sont exposés à ces pathogènes de par leur proximité à ces cours d'eau, les exposant de ce fait au risque de contamination. En effet, quel que soit la zone d'étude, plus de 75% de ménages enquêtés sont situés à proximité d'un point de prélèvement ayant un niveau de coliforme fécal supérieur à 10°ml.

---

<sup>32</sup> [http://www.who.int/household\\_water/en/](http://www.who.int/household_water/en/)

**Tableau 52:** Niveau de risque de contamination de l'eau par le coliforme fécal selon la zone d'étude pendant la saison sèche (en %) – *Approximate risk of groundwater contamination by Fecal Coliforms by spatial cluster during dry season; in %.*

Coliforme fecal in cfu/100°ml	0-9	>10	Total	Effectif
<b>Zone d'étude</b>				
Ngoa-Ekélé	15	85	100.0	238
Messa	25	75	100.0	75
Madagascar	5	95	100.0	139

Source : INS/EPESS 2012

### 6.3.3 Influence du nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

S'agissant du nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), la majorité des ménages sont proche d'un point d'eau ayant un seuil critique (50 mg/l ou plus) (chapitre 4.2.2.1.1). Cette situation reste inchangée selon la source principale d'eau ou le type de toilettes utilisées dans le ménage. Comme facteur de pollution des eaux, il s'avère donc important de limiter sa teneur dans les eaux souterraines ou de surface de Yaoundé. Carte thématique 3: Concentration massique en nitrates aux points d'eau en annexe.

**Tableau 53:** Niveau de risque de contamination de l'eau par les nitrates (NO<sub>3</sub>) selon la zone d'étude pendant la saison sèche, regroupé par sites d'étude (en %). – *Approximate level of risk of groundwater contamination by nitrate by spatial cluster during dry season; in %.*

	Moins de 50 mg/l	50 mg/l ou plus	Total	Effectif
<b>Zone d'étude</b>				
Ngoa-Ekélé	15	85	100.0	238
Messa-Carrière	25	75	100.0	98
Madagascar	15	85	100.0	139

Source : INS/EPESS 2012

### 6.3.4 Influence de l'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)

La valeur de l'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) est particulièrement élevée. Cela montre une proximité avec la source de contamination par l'urine et les matières fécales (chapitre 4.2.2.1.2). La proportion de ménages localisés près des points d'eau contaminés par ce polluant se situe au-delà de 70 % et ce, quelle que soit la zone d'étude. On peut également noter que les ménages consommant principalement de l'eau non traitée sont presque tous proches d'un point d'eau ayant un seuil critique en ammonium.

**Tableau 54:** Niveau de risque de contamination de l'eau par l'ammonium (NH<sub>4</sub>) selon la zone d'étude (en %) – *Approximate level of risk of groundwater contamination by ammonium by spatial cluster during dry season; in %.*

	Moins de 0.3 mg/l	0.3 mg/l ou plus	Total	Effectif
<b>Zone d'étude</b>				
Ngoa-Ekélé	15	85	100	238
Messa	15	85	100	98
Madagascar	0	100	100	139

Source : INS/EPESS 2012

## **6.4 Typologie des sources alternatives d'approvisionnement en eau à Yaoundé – Alternative sources of water supply in Yaoundé**

Une lecture panoramique des informations issues des discussions de groupes nous amène à établir le constat selon lequel les sources d'approvisionnement en eau ainsi que les perceptions populaires relatives à cette ressource sont plurielles.

### **6.4.1 L'eau de source: la « Villagésation<sup>33</sup> » du milieu urbain**

L'eau de source, bien que faisant partie des différentes sources d'approvisionnement en eau, a la particularité d'être rare. Cet état de chose est imputable au fait que la nappe phréatique n'est pas toujours à la portée de tous et dépend de la qualité du sol. Cependant, elle est présente dans les bas-fonds des quartiers, à la faveur du relief de Yaoundé. Cette source fait le bonheur des populations qui se voient privées plusieurs fois par mois de l'eau courante. Elle constitue sans nulle doute, un des « dons de la nature » comme le martèle l'enquêté Mimboman. « Même quand c'est la propriété d'un particulier, tout le monde ou presque, a la possibilité de s'y alimenter ». Ainsi, cette recherche de l'eau de source par ces populations fait transférer en ville, les comportements des habitants des zones rurales.

### **6.4.2 L'eau du puits**

La récurrence des coupures d'eau de la CAMWATER dans la ville amenerait les populations à se doter des puits qui sont pour beaucoup de ménages, (comme il a été dit précédemment) une source alternative d'approvisionnement en eau. D'aucuns n'hésitent pas de comparer cette source d'alimentation en eau potable au « forage des pauvres ». C'est en somme le point de vue d'un informateur du quartier « Mimboman » qui déclare que : « les puits d'eau c'est pour ceux qui n'ont pas les moyens ... ». Ici, l'on considère qu'en dehors des coupures intermittentes d'eau de la CAMWATER, il existe aussi des ménages qui n'y ont pas accès du fait de leur non proximité à la route principale ou par manque de moyens financiers pour s'en procurer.

### **6.4.3 Perception des sources et puits par les populations - The status of springs and shallow wells as perceived by the population**

La population a été sollicitée pour donner sa perception de la qualité et de la sûreté des approvisionnements alternatifs en eau par des sources et des puits superficiels. Les résultats sont présentés dans le tableau 49, où l'on a différencié le statut « aménagé » et le statut « non aménagé ». Les résultats mettent en valeur le statut tel qu'il est perçu par

---

<sup>33</sup> Concept cher au sociologue camerounais Jean-Marc ELA pour traduire la résurgence des comportements des milieux villageois en ville. C'est le cas des travaux champêtres dans la concession en ville ; in La Ville en Afrique noire, Paris, Karthala, 1983.

la population, tandis qu'ils ne reflètent pas la mise en oeuvre de standards techniques de construction, ni l'état actuel de gestion des sources et puits superficiels.

Les puits/sources situés près de l'habitat sont aménagés pour 46.6 % des ménages. Quand ils ne sont pas aménagés, le risque de contamination affectera la qualité de l'eau. Il deviendra donc dangereux pour 53.4 % des ménages de recourir à cette eau pour s'alimenter en eau potable.

**Tableau 55:** Puits/source aménagé (en %) – *Dug well / caught spring; in %.*

	Zone d'étude					Zone d'étude	Ensemble Yaoundé
	Ekoudou	Ngoa-Ekélé	Messa-Carrière	Madagascar	Biyem Assi/Obili		
Puits/source aménagé	65.4	35.2	61.1	33.3	33.3	43.8	46.6
Puits/source non aménagé	34.6	64.8	38.9	66.7	66.7	56.3	53.4
<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>
Effectif	26	91	54	57	12	240	468

Source : INS/EPESS 2012



**Figure 108:** Puits / source aménagé(e) – *Dug well / caught spring Madagascar 1 / 10 000.*

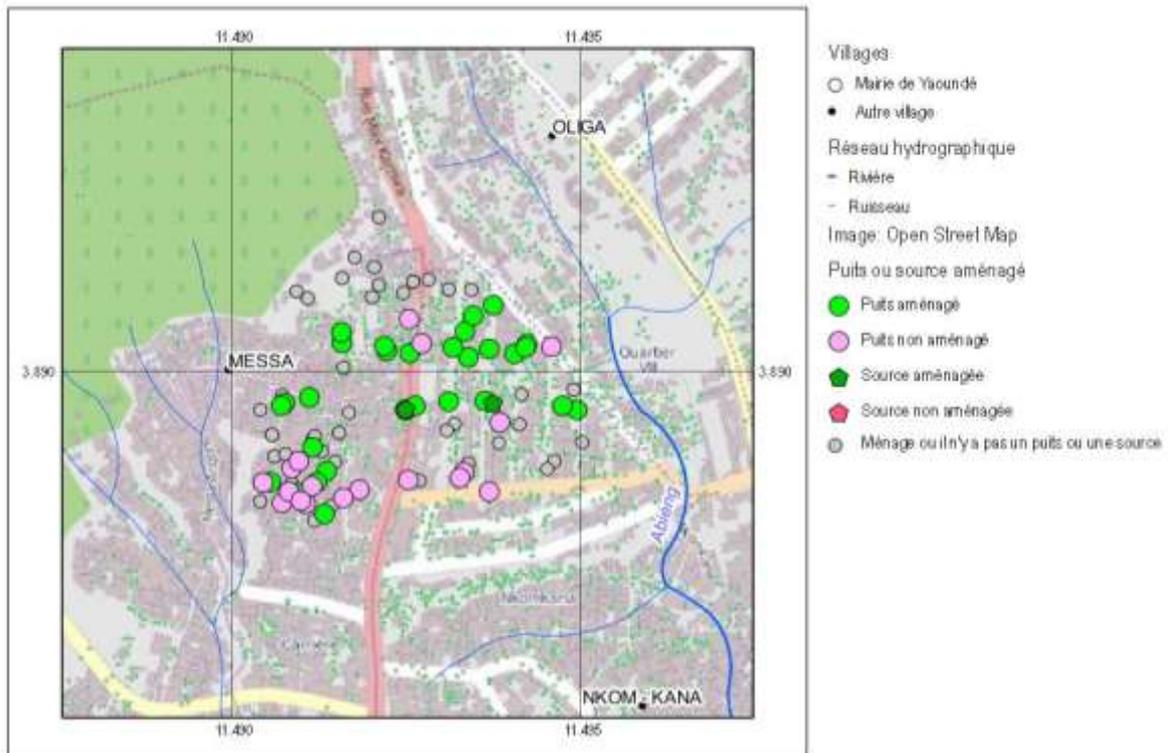


Figure 109: Puits / source aménagé(e) – Dug well / caught spring MESSA Carrière 1 / 10 000.

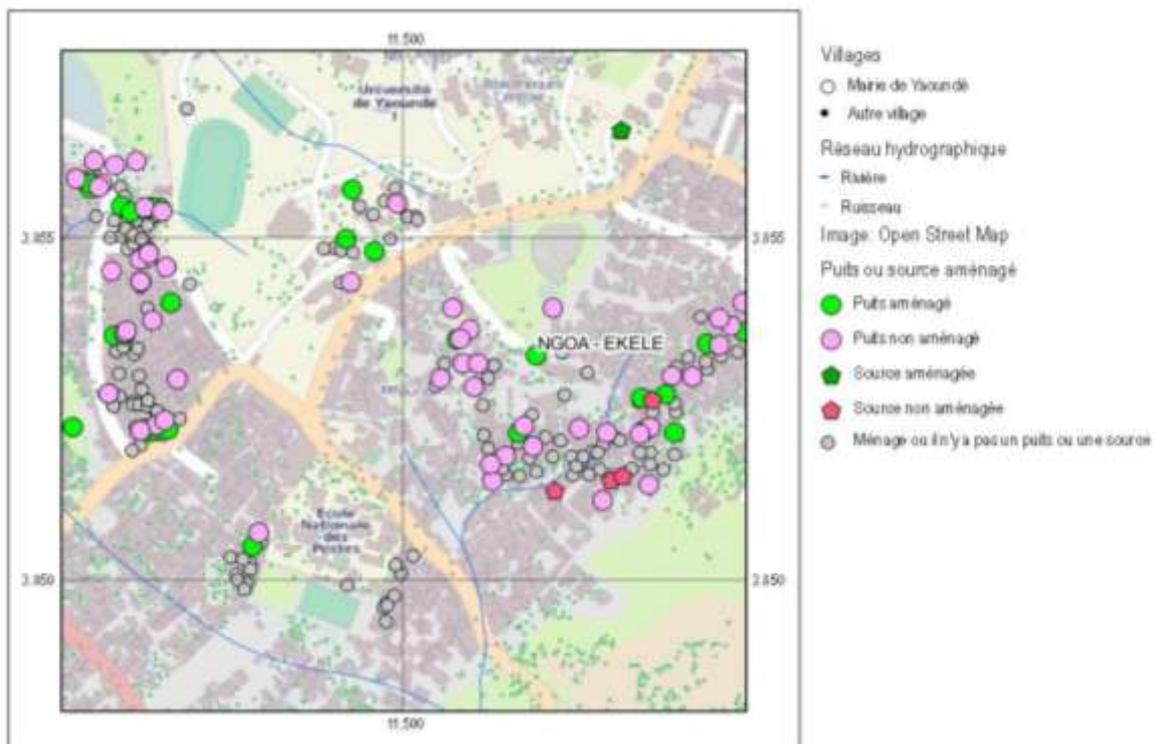


Figure 110: Puits / source aménagé(e) – Dug well / caught spring Ngoa Ekélé 1 / 10 000.



**Figure 111:** Une double source non aménagée à faible débit à Apollo / Messa-Carrière est utilisée comme eau à boire, pour le fonctionnement du ménage, pour laver le linge et comme terrain de jeu.– *A unimproved double spring with low discharge at Apollo / Messa Carrière is used for drinking and household water, washing garments and playing.*

En Figure 111, une double source non aménagée à faible débit provenant du régolite sous la latérite est utilisée essentiellement par des enfants et des adolescents qui y font provision d'eau de boisson et pour le fonctionnement du ménage. En plus de son utilisation pour y laver le linge, ce lieu est aussi le terrain de jeu des enfants. Les poules et les chèvres circulent librement à proximité immédiate de la zone d'où s'écoule la source (au-dessus du petit bassin de rétention d'eau), répandant des bactéries pathogènes avec leur excréments et transportant également de la brousse d'à côté des déchets solides déposés seulement à quelques pas de là. En avril 2012, on a détecté les larves d'une mouche parasitaire dans le petit bassin de rétention de la source. Des vieux vêtements et autres déchets solides recouvrent le sol. L'eau de surface du ruisseau qui alimente la zone atteint une conductivité de 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , indiquant une très forte pollution.

#### **6.4.4 Les sources d'approvisionnement de fortune**

Pendant les discussions de groupes sur terrain, l'on a identifié des sources d'approvisionnement dites « de fortune ». Celles-ci se trouvent au quartier Carrière et à Ngoa- Ekélé. A la Carrière par exemple, « c'est grâce à la générosité des sœurs de la Chapelle catholique de Bankolo qu'ils parviennent à se ravitailler parfois en eau de boisson quand il y a une coupure prolongée d'eau potable ». Les coupures d'eau se révèlent davantage ici comme une réalité qui ne concerne que les couches économiquement défavorisées. On classe également dans ce registre les châteaux et

citernes d'eau qui sont des modes en vigueur. Malgré toutes ces dispositifs, le problème crucial de pénurie d'eau persiste dans ces quartiers.

#### **6.4.4.1 L'eau de pluie ou la source à la portée de tous**

L'eau de pluie est également utilisée par les populations pour pallier au problème de pénurie d'eau courante. En dépit de son caractère épisodique, ces populations la considèrent comme leur « sauveur », pour reprendre cette expression d'une informatrice de la Carrière. Elle se fait plus explicite quand elle pense que « l'eau de pluie c'est pour nous, nous qui n'avons pas d'argent pour acheter de l'eau qu'on vend dehors...à la boutique... ». Ainsi, tout porte à croire que cette denrée est l'exclusivité des couches économiquement indigentes, incapables financer un forage ou de « l'eau commercialisée ».

## 7 IMPACT DE LA POLLUTION SUR LA SANTE DES POPULATIONS DE LA VILLE DE YAOUNDÉ

### 7.1 NIVEAU D'EXPOSITION DE LA POPULATION A LA POLLUTION

#### 7.1.1 Type d'insectes et d'animaux présent dans le logement - Type of insects present in the households -

A Yaoundé, l'environnement malsain peut être attribué à la présence d'insectes et d'animaux nuisibles dans les logements. En effet, les cafards (92.6 %), les moustiques (91.2 %) et les souris/rats (87.1 %) qui sont des vecteurs de maladies, partagent le quotidien des ménages, devenant de ce fait d'importants facteurs de risques de maladies et gênants pour le bien-être des populations.

**Tableau 56:** Type d'insectes et d'animaux présent dans le logement (en %). – *Type of insects and other animals present in the households; in %.*

	Zone d'étude						
	Ekoudou	NgoaEkélé	Messa Carrière	Madagascar	Biyem Assi/Obili	Ensemble zone d'étude	Ensemble Yaoundé
Souris/rats	90.0	85.8	92.7	91.6	89.7	89.1	87.1
Mouches	67.5	56.7	80.2	64.9	63.8	64.2	59.5
Moustiques	95.0	88.0	95.8	92.4	93.1	91.4	91.2
Cafards	95.0	93.1	93.8	93.1	89.7	93.0	92.6
Fourmis	90.0	68.2	78.1	67.9	75.9	72.2	67.8
Tiques	17.5	4.7	3.1	5.3	1.7	5.2	5.6
Autres	2.5	1.3	..	1.5	..	1.1	2.3
<b>Effectif</b>	<b>40</b>	<b>233</b>	<b>96</b>	<b>131</b>	<b>58</b>	<b>558</b>	<b>1 136</b>

Source : INS/EPESS 2012

Les différences ne sont pas significatives. La présence de tiques semble être essentiellement liée à la présence de verdure/brousaille (Ekoudou).

### 7.2 Morbidité générale dans la population

#### 7.2.1 Morbidité

La qualité de l'eau consommée dans les ménages a un effet direct sur la santé des populations. L'eau de mauvaise qualité ou de qualité douteuse peut causer des maladies telles que la diarrhée, la dysenterie amibienne, la typhoïde, les maladies de la peau. De plus les eaux stagnantes constituent les gîtes de moustiques, responsables de paludisme qui est l'une des causes de mortalité dans la population en général et chez les enfants de moins de cinq ans en particulier. Pendant l'enquête EPESS, il a été demandé dans chaque ménage enquêté si un membre a été malade au cours des deux dernières semaines ayant précédé l'enquête. Pour ceux qui étaient malades, la question sur la

maladie dont on a souffert était posée. Les résultats ont montré que 12.3 % de personnes dans les ménages enquêtés ont été malades. Cette proportion est de 19.4 % à Ngoa-Ekélé, 11.6 % à Madagascar, et 11.1 % à Messa-Carrière. Biyem-Assi/Obili sont les quartiers où les populations ont le moins été malades (5.7 %).

## 7.2.2 Occurrence des maladies - Occurrence of diseases

Pour mieux apprécier l'état de santé des populations dans la zone d'étude en général et celui lié aux maladies hydriques une question sur l'occurrence des maladies au cours des deux dernières semaines précédant l'enquête a été posée. Il s'agissait pour chaque membre du ménage, de dire combien de fois il a été malade pendant cette période et de quelles maladies a-t-il souffert. Les résultats montrent que 87.7 % des populations des ménages de la zone d'étude n'ont pas été malades. Des 12.3 % de malades, 10.9 % ont souffert d'une maladie, et 1.4 % ont souffert de deux maladies ou plus. Les populations des ménages du quartier Ngoa-Ekélé (16.3 %) et dans une moindre mesure celles de Madagascar (11.3 %) et de Messa-Carrière (9.2 %) sont celles qui ont le plus été malades parmi celles ayant eu une seule occurrence de maladie. Toujours à Ngoa-Ekélé, 3.3 % de populations des ménages ont eu deux occurrences de maladies ou plus aux cours des deux dernières semaines précédant l'enquête.

**Tableau 57:** Apparition des maladies (en %) - Occurrence of diseases; in %.

	Zone d'étude					Population dans la zone d'étude	Population générale
	Ekoudou	Ngoa-Ekélé	Messa Carrière	Madagascar	Biyem Assi/Obili		
Aucune maladie	92.4	80.6	88.9	88.4	94.3	87.7	88.1
Une maladie	7.6	16.3	9.2	11.3	5.0	10.9	10.1
Deux maladies ou plus		3.1	1.8	0.3	0.7	1.4	1.8
<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>
Effectif	158	484	380	612	282	1916	4396

Source : INS/EPESS 2012

## 7.2.3 Morbidité dans la zone d'enquête suivant la distance entre le ménage et le point d'eau

La proximité des points d'eau de mauvaise qualité prédisposerait la population à des risques de maladies hydriques, surtout dans un contexte où il y a coupure régulière d'eau courante et que les populations doivent faire recours à ces points d'eau pour se ravitailler en eau potable ou pour les autres usages des ménages. Il ressort du tableau ci-dessous que la morbidité est plus élevée dans les ménages situés à moins de 500 mètres des points d'eau. Cette morbidité est plus répandue à Ngoa-Ekélé (16.3 % dans un rayon de moins de 100 mètres, 22.0 % entre 100 et moins de 500 mètres et 50.0 % à 500 mètres et plus) que dans les autres quartiers comme Madagascar (14.7 % et 10.0 % respectivement à moins de 100 mètres et entre 100 et 499 mètres) ou Messa-Carrière (6.3 % à moins de 100 mètres et 15.8 % entre 100 et 499 mètres).

**Tableau 58:** Nombre des personnes tombées malade dans la zone d'enquête suivant la distance entre le ménage et le point de prélèvement le plus proche – *Number of persons fallen ill according to the distance between the household and the nearest water point.*

	Distance			Total
	Moins de 100 mètres	100 à 499 mètres	500 mètres et plus	
Ekoudou	0.0	8.8	8.1	7.6
Ngoa-Ekélé	16.3	22.0	50.0	19.3
Messa Carrière	6.3	15.8	0.0	10.8
Madagascar	14.7	10.0	0.0	11.5
Biyem Assi/Obili	10.0	6.1	0.0	5.7
Ensemble	12.4	12.6	6.9	12.1

Source : INS/EPESS 2012

### 7.2.4 Prévalence des principales maladies

Pour mieux apprécier l'effet de la qualité de l'environnement sur la santé des populations riveraines, il s'avère nécessaire d'examiner la prévalence des maladies déclarées lors de cette enquête. Pour l'ensemble de la ville de Yaoundé, la prévalence des maladies a été de 5.9 %. Le paludisme est la maladie dont la prévalence est la plus élevée (5.3 %). Les autres maladies hydriques telles que la typhoïde, la dysenterie, les maladies diarrhéiques les maladies, de la peau, ont enregistré moins de 1 %. La prévalence des autres maladies non liées à l'eau telles que: l'asthme, les maux de dents, les céphalées, l'AVC, l'infection gastrique, la toux, la rougeole, etc. est de 5.9 %.

Lorsqu'on s'intéresse à la zone d'étude, la même tendance est observée. Le paludisme vient en tête avec une prévalence de 4.6 %. La distribution selon la zone d'étude montre que le paludisme sévit le plus à Ngoa-Ekélé (8.7 %) et dans une moindre mesure à Messa-Carrière (4.7 %) qu'à Biyem-Assi (2.1 %) et Ekoudou (1.3 %). Les maladies diarrhéiques ont été observées, dans presque tous les quartiers à l'exception de Biyem-Assi/Obili.

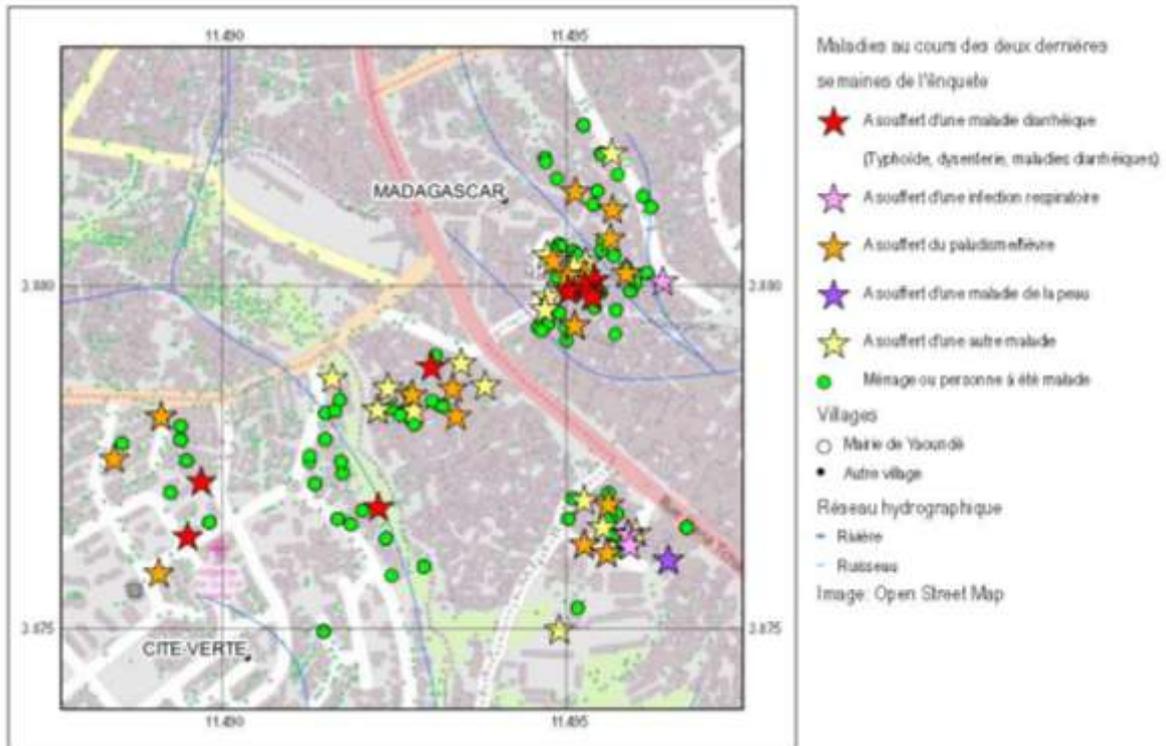
**Tableau 59:** Prévalence des principales maladies (en %) – *Occurrence of diseases ( in %).*

	Zone d'étude					Zone d'étude	Ensemble Yaoundé
	Ekoudou	Ngoa-Ekélé	Messa Carrière	Madagascar	Biyem Assi/Obili		
Paludisme/fièvre	1.3	8.7	4.7	3.3	2.1	4.6	5.3
Typhoïde	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.5
Maladie de la peau	0.0	0.8	0.3	0.5	0.0	0.4	0.3
Dysenterie	0.6	0.4	0.5	0.3	0.0	0.4	0.4
Maladie diarrhéique	1.3	1.4	1.3	1.1	0.0	1.1	0.7
Infection respiratoire	0.0	0.4	1.3	1.8	0.0	0.9	0.8
Autre maladie	4.4	9.7	5.0	4.9	4.2	6.0	5.9

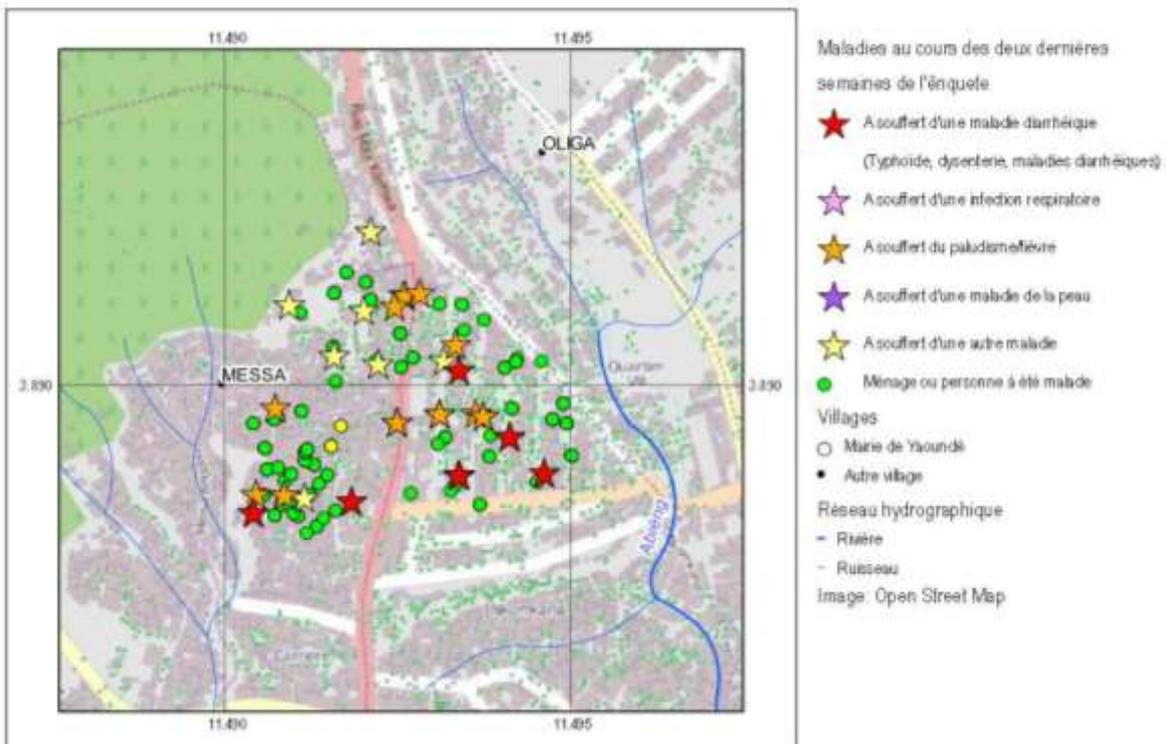
Source : INS/EPESS 2012

En ce qui concerne la dysenterie, quelques membres des ménages des quartiers Ekoudou, Messa-Carrière, Ngoa-Ekélé et Madagascar en ont souffert au cours des deux

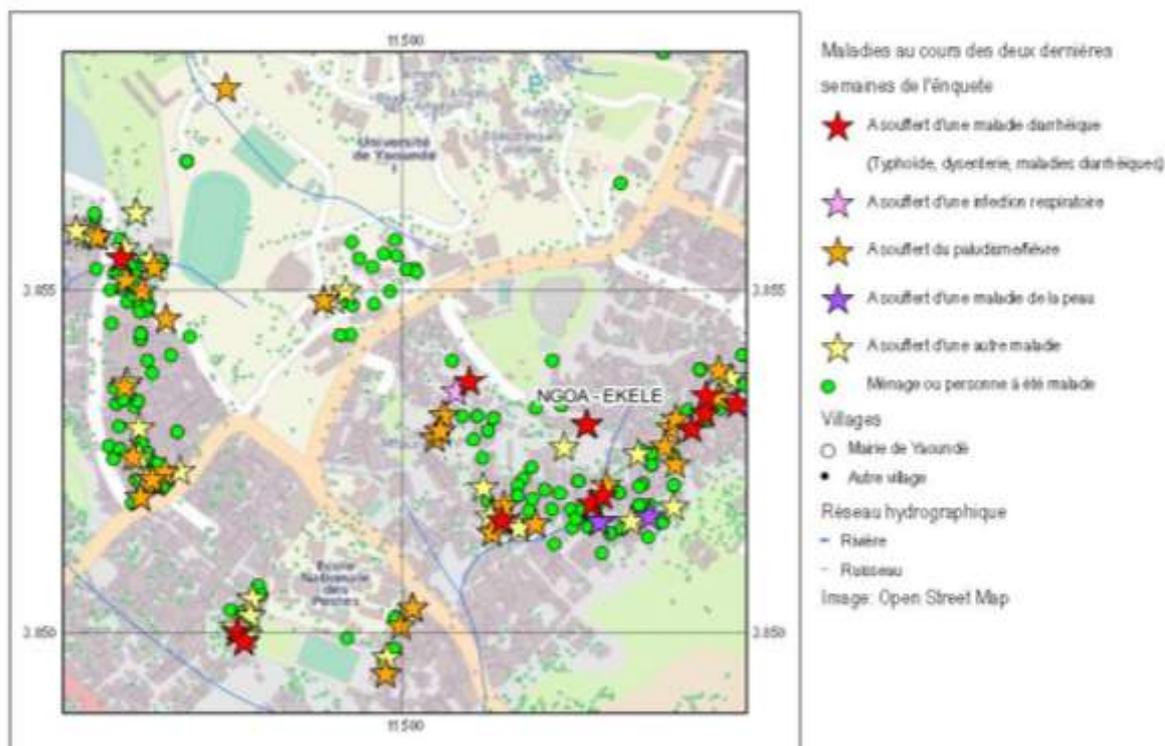
dernières semaines précédant l'enquête. Les infections respiratoires sont le plus observées à Madagascar (1.8 %) et à Messa-Carrière (1.3 %).



**Figure 112:** Maladies au cours des deux dernières semaines de l'enquête – *Diseases occurring within two weeks prior to the survey – Madagascar 1 / 10 000.*



**Figure 113:** Maladies au cours des deux dernières semaines de l'enquête – *Diseases occurring within two weeks prior to the survey – Messa Carrière 1 / 10 000.*



**Figure 114:** Maladies au cours des deux dernières semaines de l'enquête – *Diseases occurring within two weeks prior to the survey – Ngoa Ekélé 1 / 10 000.*

Carte thématique 21: Maladies diarrhéiques en annexe.

#### 7.2.4.1 **Prévalence des maladies selon les caractéristiques individuelles des membres des ménages**

Le sexe des individus ne semble pas influencer significativement la prévalence des maladies, qu'elles soient hydriques ou non hydriques, dans la zone d'étude ou hors zone d'étude. La prévalence du paludisme est toujours plus élevée que celle des autres maladies hydriques et non hydriques.

Quant à l'âge, plus on est jeune, plus l'on est vulnérable aux maladies hydriques. La prévalence du paludisme atteint respectivement 5.0 % et 5.8 % dans la zone d'étude et hors zone d'étude chez les moins de cinq ans. De même, celle des autres maladies hydriques est de 3.6 % et 4.7 % dans la même tranche d'âge. Les autres caractéristiques individuelles telles que l'état civil ou le niveau d'instruction n'ont pas d'effet significatif sur la prévalence des maladies, qu'elles soient hydriques ou non.

**Tableau 60:** Prévalence des principales maladies liées à l'eau selon le sexe et la zone d'enquête (en %) – *Prevalence of principal water-borne diseases within two weeks prior to the survey ; in %.*

Sexe		Paludisme	Maladies liées à l'eau (typhoïde, dysenterie et maladie diarrhéiques)	Autres maladies liées à l'eau (Infections respiratoires et maladies de la peau)		Effectif
				Autres maladies		
Masculin	Zone d'étude	5.0	1.6	1.1	5.3	1000
	Hors zone	5.8	1.5	.9	4.9	1231
	Ensemble Yaoundé	5.5	1.5	1.0	5.1	2231
Féminin	Zone d'étude	4.1	1.9	1.6	6.8	916
	Hors zone	6.0	1.4	0.9	6.6	1249
	Ensemble Yaoundé	5.2	1.6	1.2	6.7	2165

Source : INS/EPESS 2012

**Tableau 61:** Prévalence des principales maladies liées à l'eau selon l'âge et la zone d'enquête (en %) – *Prevalence of principal water-borne diseases according to age and zone of survey; in %.*

		Paludisme	Maladies liées à l'eau (typhoïde, dysenterie et maladie diarrhéiques)	Autres maladies liées à l'eau (Infections respiratoires et maladies de la peau)	Autres maladies	Effectif
Moins de 5 ans	Zone d'étude	6.3	1.0	2.6	7.8	192
	Hors zone	12.0	2.2	2.8	11.4	317
	Ensemble Yaoundé	9.8	1.8	2.8	10.0	509
5-14 ans	Zone d'étude	2.3	0.8	2.8	3.1	353
	Hors zone	4.8	0.7	1.4	5.5	564
	Ensemble Yaoundé	3.8	0.8	2.0	4.6	917
15-24 ans	Zone d'étude	5.8	1.8	0.5	5.8	555
	Hors zone	4.5	1.2	0.2	4.3	580
	Ensemble Yaoundé	5.1	1.5	0.4	5.0	1135
25-44 ans	Zone d'étude	5.1	2.6	1.1	5.7	651
	Hors zone	5.6	1.5	0.3	4.1	779
	Ensemble Yaoundé	5.4	2.0	0.6	4.8	1430
45 ans et plus	Zone d'étude	1.8	0.6	0.6	12.1	165
	Hors zone	5.0	2.5	0.8	7.9	240
	Ensemble Yaoundé	3.7	1.7	0.7	9.6	405

Source : INS/EPESS 2012

**Tableau 62:** Prévalence des principales maladies liées à l'eau selon le statut matrimonial et la zone d'enquête (en %) – *Prevalence of principal water-borne diseases according to marriage status and zone of survey; in %.*

		Paludisme	Maladies liées à l'eau (typhoïde, dysenterie et maladie diarrhéiques)	Autres maladies liées à l'eau (Infections respiratoires et maladies de la peau)	Autres maladies	Effectif
<b>Célibataire</b>	Zone d'étude	4.5	1.9	1.2	3.8	925
	Hors zone	7.2	1.4	0.8	5.8	1056
	Ensemble Yaoundé	6.0	1.7	1.0	4.8	1981
<b>Marié (e)</b>	Zone d'étude	3.9	1.7	1.8	8.0	711
	Hors zone	5.1	1.6	1.3	5.0	933
	Ensemble Yaoundé	4.6	1.6	1.5	6.3	1644
<b>En rupture d'union</b>	Zone d'étude	5.1	1.0	1.0	8.1	99
	Hors zone	2.7	0.0	0.9	8.0	112
	Ensemble Yaoundé	3.8	0.5	0.9	8.1	211
<b>En union libre</b>	Zone d'étude	6.3	1.6	0.8	7.9	126
	Hors zone	3.0	1.7	0.4	8.2	233
	Ensemble Yaoundé	4.2	1.7	0.6	8.1	359

Source : INS/EPESS 2012

**Tableau 63:** Prévalence des principales maladies liées à l'eau selon le niveau d'instruction et la zone d'enquête (en %) – *Prevalence of principal water-borne diseases according to education and zone of survey; in %.*

		Paludisme	Maladies liées à l'eau (typhoïde, dysenterie et maladie diarrhéiques)	Autres maladies liées à l'eau (Infections respiratoires et maladies de la peau)	Autres maladies	Effectif
<b>Primaire</b>	Zone d'étude	3.0	0.2	1.5	4.2	<b>405</b>
	Hors zone	5.0	1.5	1.7	6.0	<b>603</b>
	Ensemble Yaoundé	4.2	1.0	1.6	5.3	<b>1008</b>
<b>Secondaire</b>	Zone d'étude	2.9	2.2	1.1	5.8	<b>736</b>
	Hors zone	5.6	1.3	0.2	4.8	<b>1102</b>
	Ensemble Yaoundé	4.5	1.6	0.5	5.2	<b>1838</b>
<b>Supérieur</b>	Zone d'étude	7.7	2.3	0.9	6.4	<b>532</b>
	Hors zone	3.0	1.3	0.0	3.8	<b>396</b>
	Ensemble Yaoundé	5.7	1.8	0.5	5.3	<b>928</b>

Source : INS/EPESS 2012

#### **7.2.4.2 Prévalence des principales maladies liées à l'eau selon le principal mode d'évacuation des eaux usées et la zone d'enquête**

Le mode d'évacuation des eaux usées agit plus sur la prévalence des maladies hydriques que sur celle des maladies non hydriques, soit 7.0 % contre 4.9 %. Cette prévalence des

maladies hydriques est en grande partie imputable à la prévalence du paludisme au sein de la population des ménages de la ville de Yaoundé.

**Tableau 64:** Prévalence des principales maladies liées à l'eau selon le principal mode d'évacuation des eaux usées et la zone d'enquête (en %) – *Prevalence of principal water-borne diseases according to mode of household waste water disposal and zone of survey; in %.*

		Paludisme	Maladies liées à l'eau (typhoïde, dysenterie et maladie diarrhéiques)	Autres maladies liées à l'eau (Infections respiratoires et maladies de la peau)	Autres maladies	Effectif
Caniveau/rigole/ cours d'eau	Zone d'étude	4.7	1.7	0.6	4.9	1092
	Hors zone	4.4	1.3	0.8	6.0	1356
	Ensemble Yaoundé	4.5	1.5	0.7	5.5	2448
Autre lieu	Zone d'étude	4.1	1.7	2.4	7.4	757
	Hors zone	7.7	1.7	1.1	5.7	963
	Ensemble Yaoundé	6.1	1.7	1.7	6.5	1720

Source : INS/EPESS 2012

### 7.2.4.3 Prévalence des principales maladies liées à l'eau selon la distance entre le ménage et le point de prélèvement d'eau le plus proche et la zone d'enquête

La distance entre le ménage et le point de prélèvement le plus proche semble déterminante surtout sur la prévalence des maladies hydriques. Cependant, cette prévalence est d'abord tributaire de la forte prévalence du paludisme, qui est considérée comme la première cause de mortalité en Afrique sub-saharienne.

**Tableau 65:** Prévalence des principales maladies liées à l'eau selon la distance entre le ménage et le point de prélèvement d'eau le plus proche et la zone d'enquête (en %) – *Prevalence of principal water-borne diseases as a function of distance between the household and the nearest sampled water point and zone of survey; in %.*

		Paludisme	Maladies liées à l'eau (typhoïde, dysenterie et maladie diarrhéiques)	Autres maladies liées à l'eau (Infections respiratoires et maladies de la peau)	Autres maladies	Effectif
Moins de 100 mètres	Zone d'étude	5.5	1.9	1.3	5.8	638
	Ensemble Yaoundé	5.5	1.9	1.3	5.8	638
100-499 mètres	Zone d'étude	4.5	1.4	1.6	6.5	1130
	Ensemble Yaoundé	4.5	1.4	1.6	6.5	1130
500 mètres et plus	Zone d'étude	0.7	2.8	0.0	3.5	142
	Ensemble Yaoundé	0.7	2.8	0.0	3.5	142

Source : INS/EPESS 2012

## 7.3 L'anémie chez les jeunes enfants – Anemia in young children

Au total, il a été effectué un bilan sanguin (avec mesure des valeurs d'hémoglobine Hb) chez 381 enfants, à l'aide d'un photomètre HemoCue®, facilement et directement

utilisable dans les foyers. Avec une valeur d'Hb inférieure à 11 g/100°ml chez les enfants jusqu'à 6 ans, on parle d'anémie. Celle-ci est catégorisée en trois groupes : légère (10-10.9 g/100°ml), moyenne (8.0-9.9 g/100°ml) et grave (<8 g/100°ml). Les personnes avec une valeur Hb <8 g/100°ml devraient impérativement se rendre chez le médecin pour effectuer des analyses, du fait que les enfants souffrant d'anémie grave ont un risque important de développer des infections et ont une mortalité plus élevée.

Les causes d'anémie sont diverses. L'anémie peut être congénitale et s'exprimer par une drépanocytose (sicklémie), avec des globules rouges en forme de faucille (anémie falciforme). Les anémies acquises peuvent être causées par des carences en fer (ferriprive) et en vitamines (anémie mégaloblastique), provenant d'une alimentation déséquilibrée ou des maladies liées à des vers.

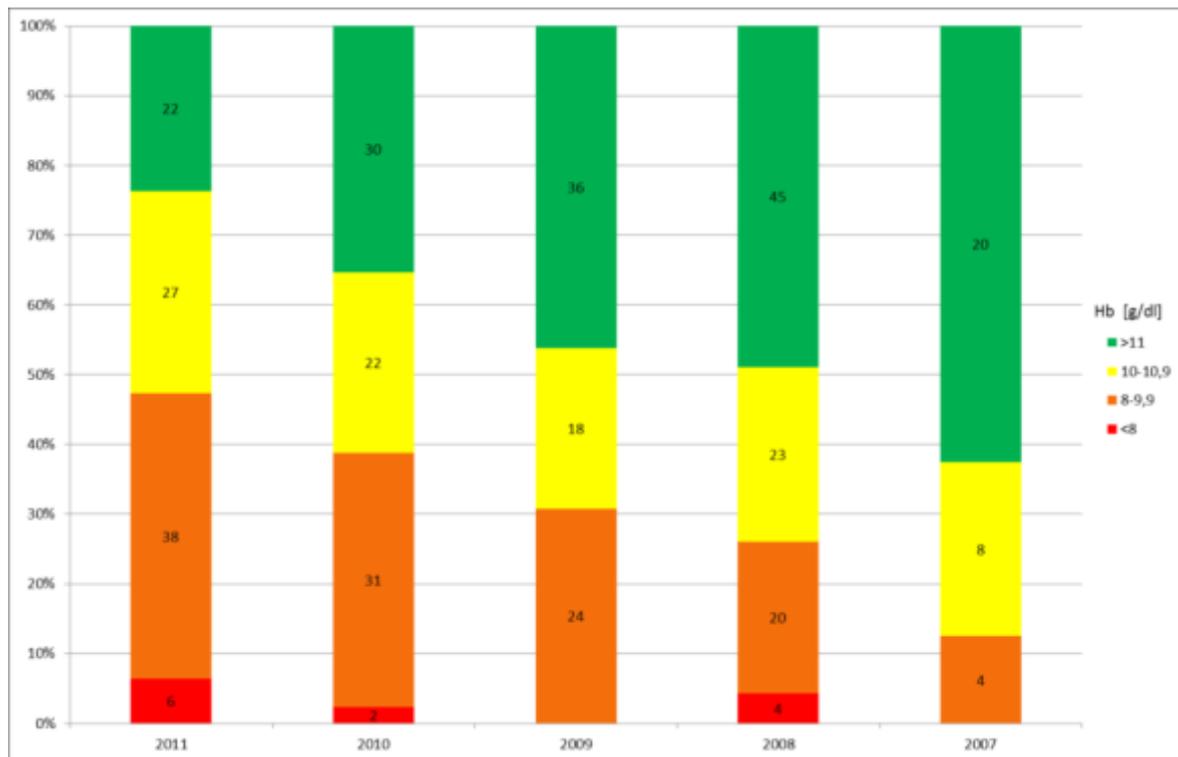
Parmi les 381 enfants testés, 12 présentaient des valeurs d'Hb inférieures à 8 g/100°ml. 6 des ces enfants étaient âgés d'1 an et demi au plus au moment de l'étude et sont, de par leur âge, particulièrement affectés par l'anémie. 214 des enfants présentaient une anémie légère à moyenne. Le pourcentage d'enfants souffrant de légère anémie est sensiblement le même dans toutes les fourchettes d'âge, tandis que la proportion d'enfants souffrant d'anémie moyenne diminue avec l'âge (voir figure). Parallèlement à la diminution du taux d'anémie moyenne, le pourcentage d'enfants ne souffrant pas d'anémie augmente. Chez les enfants nés en 2007, 60 % de ceux testés ont une valeur d'Hb satisfaisante, supérieure à 11 g/100°ml. En comparaison, ce pourcentage n'est que de 23 % pour les enfants nés en 2011.

Durant l'étude, il a pu être mis en évidence que l'anémie chez les moins de 5 ans diminue avec l'âge, le risque le plus élevé se situant chez les enfants les plus jeunes. Comme il est connu que l'anémie peut être provoquée et aggravée par la malaria, les diarrhées et les infestations aux vers, une amélioration de l'alimentation en eau et de son assainissement permettra de faire diminuer les cas d'anémies graves, à l'origine de troubles du développement et d'une mortalité élevée.

Carte thématique 22: Infection de paludisme chez les enfants et Carte thématique 23: Niveau d'hémoglobine chez les enfants au 1 / 30 000 en annexe.

**Tableau 66:** Nombre d'enfants pour chaque classe de valeurs d'hémoglobine – *Number of children for each class of hemoglobine values.*

Hb	<8	8-9,9	10-10,9	>11
Cases	12	117	97	155



**Figure 115:** Répartition de la fréquence des valeurs Hb (par catégories) pour chaque année de naissance (de 2007 à 2011) – *Frequency distribution of Hb values (categorized) in the years of birth 2007 to 2011.*

## 8 Recommandations - Recommandation

Au terme de cette étude pilote sur la pollution des eaux de surface et souterraines à Yaoundé et son impact sur la santé des populations riveraines et au vue des résultats obtenus, il s'avère important de formuler les recommandations suivantes:

- ***A l'endroit de la communauté urbaine et des communes d'arrondissements***
  - Promouvoir la vidange régulière des systèmes d'assainissement autonomes et régler leur fonctionnement ;
  - sensibiliser les populations sur la gestion des ordures ménagères ;
  - étendre les activités de la société de ramassage et de gestion des déchets solides aux populations riveraines non encore desservies ;
  - Etendre les systèmes de drainage et améliorer le curage des caniveaux. ;
  - mettre en place un système de traitement adapté
  - en fonction des types de déchets et améliorer les dispositifs existants;
  - promouvoir le comportement citoyen auprès des populations riveraines à travers des actions communautaires;
  - Sécuriser les sources naturelles en délimitant les périmètres de protection et en aménageant les points d'eau ;
  - promouvoir la construction des toilettes à système séparatif (excréta et urines).
- ***A l'endroit du Ministère de l'Habitat et du Développement Urbain,***
  - réhabiliter et construire les stations d'épuration d'eaux usées ;
  - veiller à l'exécution de la réglementation sur les constructions dans les zones marécageuses ;
  - promouvoir les méthodes hygiéniques de traitement des eaux de pluie dans la construction des nouveaux habitats ;
  - mettre en place un programme technologiquement viable pour aider à une utilisation efficace des eaux de pluie par les propriétaires des logements.
- ***A l'endroit du Ministère de la Santé Publique,***
  - renforcer les mesures de prévention contre les maladies hydriques notamment le paludisme ;
  - proposer des traitements adéquats aux personnes exposées aux maladies hydriques ;
  - promouvoir le traitement et le stockage de l'eau non potable utilisée par le ménages (filtre à eau, chloration, ébullition ou la méthode de désinfection solaire (SOLar DISinfection en anglais), pour réduire les risques d'infection ;
  - agréer les points d'eau destinés à la consommation ;
  - valoriser la réutilisation des urines et excréta pour la fertilisation des sols.
- ***A l'endroit du Ministère de l'Environnement, de la Protection de la Nature et du Développement Durable,***
  - repérer les zones à fort potentiel de pollution des eaux souterraines et de surface dans la ville ;
  - doter ces zones d'un système de traitement des eaux usées, pour réduire la teneur des éléments polluants qui y sont émises.

**A l'endroit des Ministères de l'Education de Base, des Enseignements Secondaires et de l'Enseignement Supérieur,**

- Susciter la prise de conscience des problèmes environnementaux en général et de la pollution des eaux en particulier, à travers des programmes d'enseignements scolaires et académiques.

**- A l'endroit du Ministère de l'Eau et de l'Energie,**

- détecter de nouveaux points de captage d'eau pour satisfaire la demande en eau potable dans les villes;
- répertorier les plantes existantes de traitement d'eau naturelle (eau de surface) et leur canalisation par des équipements appropriés, afin de mettre à la disposition de la population sans cesse croissante dans les villes, le volume journalier d'eau potable nécessaire.
- adapter, étendre et améliorer le réseau urbain existant de distribution d'eau et toutes ses composantes dans les villes, de sorte à:
  - a) améliorer sa couverture et faciliter l'approvisionnement en eau de la population
  - b) réduire significativement le nombre et la durée des coupures journalières.
- accroître les moyens financiers destinés à la recherche dans le domaine de l'environnement en général et de l'eau en particulier.

**- A l'endroit du Ministère de la Recherche et de l'Innovation,**

- renforcer les capacités des acteurs de la recherche dans les domaines de l'eau, l'assainissement et l'hydrologie.

**- A l'endroit du Ministère de l'Economie, de la Planification et de l'Aménagement du Territoire et du Ministère des Finances,**

- mobiliser davantage des ressources financières de l'Etat et de ses partenaires techniques et financiers pour la production des statistiques environnementales notamment celles en rapport avec l'eau et l'assainissement ;

**- A l'endroit de l'INS,**

- étendre cette étude non seulement aux grandes villes du Cameroun, mais également aux zones agro-industrielles, afin de permettre l'amélioration des connaissances, sur les types de pollution au Cameroun;
- disséminer les résultats de l'étude à travers des conférences et ateliers, de sorte à informer l'opinion publique et à promouvoir la recherche sur les sujets connexes, en intégrant le SIG existant, qui permettra d'améliorer les données déjà publiées et accessibles.
- Collecter, gérer, reporter et disséminer les informations pertinentes sur l'eau et l'hygiène qui serviront à l'adaptation du Cameroun aux changements climatiques par les décideurs, les administrations et les chercheurs, démarche qui contribuera à l'atteinte des OMD 7.

## 9 References

Formularbeginn

Matching entries: 339/339

settings...

Formularende

Author	Title	Year	Journal/Proceedings	Reftype	DOI/URL
Agency for Toxic Substances and Disease Registry	Nitrate/Nitrite Toxicity <a href="#">[BibTeX]</a>	2010		techreport	
AECOM	Étude d'impact environnemental cumulatif du projet hydroélectrique de Lom Pangar <a href="#">[BibTeX]</a>	2011	(05-19534)	techreport	
Aina, M., Djihouessi, B., Vissin, E., Kpondjo, N., Gbèdo, V. and Sohounhloùé, K.	Characterization of the domestic wastewaters and dimensionality of a pilot treatment station by lagooning at Abomey Calavi city - Benin <a href="#">[BibTeX]</a>	2012	ISCA J. Engineering Sciences Vol. 1(1), pp. 45-50	article	
Ako Ako, A., Shimada, J., Hosono, T., Ichiyangi, K., Nkeng, G.E., Fantong, W.Y., Takem Eyong, G.E. and Ntangkou Njila, R.	Evaluation of groundwater quality and its suitability for drinking, domestic, and agricultural uses in the Banana Plain (Mbanga, Njombe, Penja) of the Cameroon Volcanic Line <a href="#">[BibTeX]</a>	2011	Environ. Geochem Health Vol. 33, pp. 559-575	article	
Aranyossi, J., Filly, A., Tandia, A., Louvat, D., Ousmane, B., Joseph, A. and Fontes, J.	Isotope techniques in water ressources development <a href="#">[BibTeX]</a>	1989	(319/39), pp. 309-324	inbook	
Aravena, R., Evans, M. and Cherry, J.	Stable Isotopes of Oxygen and Nitrogen in Source Identification of Nitrate from Septic Systems <a href="#">[BibTeX]</a>	1993	Ground Water Vol. 31 (2), pp. 180-186	article	
Asano, T. and Cotruvo, J.A.	Groundwater recharge with reclaimed municipal wastewater: health and regulatory considerations <a href="#">[BibTeX]</a>	2004	Water Res., pp. p11	article	
Assako Assako, R.J.	<a href="#">[BibTeX]</a>	2009	AEHA Recueil Resumes	conference	<a href="#">URL</a>
Ateba Bessa, H., Nougang, M.E., Noah Ewoti, O.V., Tamatcho Kweyang, B., Tawedi, R.E., Mbilongo, J.-C., Nola, M. and Njine, T.	Occurrence of <i>Salmonella</i> spp in surface waters of Yaoundé, Cameroon <a href="#">[BibTeX]</a>	2012	J. Env. Science and Water Resources Vol. 1 (10), pp. 243-250	article	
Audry, S., Boeglin, J.-L., Ndam Ngoupayou, J., Braun, J.-J., Riotte, J., Subramanian, S., Mohan Kumar, M. and Sekhar, M.	ORE-BVET, website <a href="#">[BibTeX]</a>	2013	www	electronic	<a href="#">URL</a>
Awah, E.	Soil Map of Mount Cameroon Project Area <a href="#">[BibTeX]</a>	199X		techreport	
Ball, E., Bard, J. and Soba, D.	Tectonique tangentielle dans la catazone pan-africaine du Cameroun: les gneiss de Yaoundé <a href="#">[BibTeX]</a>	1984	J. African Earth Sciences Vol. 2 (2), pp. 91-95	article	
Barbey, P., Macaudiere, J. and Nzenti, J.	High-Pressure Dehydration Melting of Metapelites: Evidence from the Migmatites of Yaounde (Cameroon) <a href="#">[BibTeX]</a>	1990	J. Petrology Vol. 31, pp. 401-427	article	
Beiderwieden, E., Wrzesinsky, T. and Klemm, O.	Chemical characterization of fog and rain water collected at the eastern Andes cordillera <a href="#">[BibTeX]</a>	2005	Hydrol. Earth Sys. Sci. Discuss. Vol. 2, pp. 863-885	article	
Bellenberg, S.	EPESS - Cartes thématiques pour une évaluation statistique et une aide à la décision politique dans un environnement SIG libre de droits <a href="#">[BibTeX]</a>	2013		unpublished	

Author	Title	Year	Journal/Proceedings	Reftype	DOI/URL
Bemmo, N., Ngamga, G., Y.M., K.N., Guesta Kamanou, F., Megno Ouambo, L. and Bakary, H.	Assainissement autonome et impact sur la santé et l'environnement, choix des technologies adaptées: cas de Yaoundé (Cameroun) <a href="#">[BibTeX]</a>	2001		techreport	
Bemmo, N., Ngamga, G., Y.M., K.N., Guesta Kamanou, F., Megno Ouambo, L. and Bakary, H.	Assainissement autonome et impact sur la santé et l'environnement, choix des technologies adaptées: cas de Yaoundé (Cameroun) <a href="#">[BibTeX]</a>	1999		techreport	
Bemmo, N., Njine, T., Nola, M. and Ngamga, D.	Techniques utilisées au niveau des quartiers périurbains pour l'évacuation des eaux usées et excréta humains - Propositions de systèmes appropriés (Yaoundé, Cameroun) <a href="#">[BibTeX]</a>	1998		techreport	
Bemmo, N., Njine, T., Nola, M. and Ngamga, G.	Impact des différents dispositifs d'évacuation des eaux de vidange, des eaux usées, des excréta humains et des déchets solides sur les ressources en eau, la santé et l'environnement : cas des quartiers denses à habitats spontanés et des zones périurbaines de Yaoundé-Cameroun. Proposition de systèmes appropriés tenant compte des contraintes locales <a href="#">[BibTeX]</a>	1998		techreport	
Biazin, B., Sterk, G., Temesgen, M., Abdulkedir, A. and Stroosnijder, L.	Rainwater harvesting and management in rainfed agricultural systems in sub-Saharan Africa – A review <a href="#">[Abstract]</a> <a href="#">[BibTeX]</a>	2012	Physics and Chemistry of the Earth Vol. 47-48, pp. 139-151	article	
de Boer, W. and Laanbroek, H.J.	Ureolytic nitrification at low pH by Nitrosospira spec. <a href="#">[BibTeX]</a>	1989	Arch Microbiol. Vol. 152, pp. 178-181	article	
Bosso Bosso, S.	Approvisionnement en eau potable de la ville de Yaoundé <a href="#">[BibTeX]</a>	2000		techreport	
Braun, J.-J., Ndam Ngoupayou, J., Viers, J., Dupre, B., Bedimo Bedimo, J.-P., Boeglin, J.-L., Robain, H., Nyeck, B., Freydier, R., Nkamdjou, L.S., Rouiller, J. and Muller, J.-P.	Present weathering rates in a humid tropical watershed: Nsimi, South Cameroon <a href="#">[Abstract]</a> <a href="#">[BibTeX]</a>	2005	Geochim Cosmochim Acta Vol. 69 (2), pp. 357-387	article	
Brunet, F., Dubois, K., Veizer, J., Nkoue Ndong, G., Ndam Ngoupayou, J., Boeglin, J. and Probst, J.	Terrestrial and fluvial carbon fluxes in a tropical watershed: Nyong basin, Cameroon <a href="#">[BibTeX]</a>	2009	Chem. Geol. Vol. 265, pp. 563-572	article	
Cahine, M.T.	The hydrological cycle and its influence on climate <a href="#">[BibTeX]</a>	1992	Nature Vol. 359, pp. 373-380	article	
Camdessus, M.	<a href="#">[BibTeX]</a>			book	
Carmargo, J.A., Alonso, A. and Salamanca, A.	Nitrate toxicity to aquatic animals: a review with new data for freshwater invertebrates <a href="#">[BibTeX]</a>	2005	Chemosphere Vol. 58, pp. 1255-1267	article	
Castaing, C., Feybesse, J., Thieblemont, D., Triboulet, C. and Chevremont, P.	Paleogeographical reconstructions of the Pan-African / Brasiliano orogen: closure of an oceanic domain or intracontinental convergence between major blocks? <a href="#">[BibTeX]</a>	1994	Precambrian Res. Vol. 69, pp. 327-344	article	
Cave, B. and Kolsky, P.	Groundwater, latrines and health - Well study <a href="#">[BibTeX]</a>	1999		techreport	
Cedergren, M.I., Selbing, A.J., Loefman, O. and Kaellen, B.A.J.	Chlorination Byproducts and Nitrate in Drinking Water and Risk for Congenital Cardiac Defects <a href="#">[BibTeX]</a>	2002	Env. Res. Section Vol. A 89, pp. 124-130	article	
Chippaux, J., Houssier, S., Gross, P., Bouvier, C. and Brissaud, F.	Etude de la pollution de l'eau souterraine de la ville de Niamey, Niger <a href="#">[BibTeX]</a>	2002	Bull. Soc. Pathol. Exot. Vol. 94 (2), pp. 119-123	article	
Conde-Costas, C. and Gómez-Gómez, F.	NITRATE CONTAMINATION OF THE UPPER AQUIFER IN THE MANATÍ-VEGA BAJA AREA, <a href="#">[BibTeX]</a>	1998	Advancing Water Resources Research and Management -	inproceedings	

Author	Title	Year	Journal/Proceedings	Reftype	DOI/URL
	PUERTO RICO <a href="#">[BibTeX]</a>		Third International Symposium on Tropical Hydrology		
Coulibaly, L., Diomandé, D., Coulibaly, A. and Gourène, G.	Utilisation des ressources en eaux, assainissement et risques sanitaires dans les quartiers précaires de la commune de port-bouët (Abidjan; Côte d'Ivoire) <a href="#">[BibTeX]</a>	2004	Vertigo, Revue des sciences de l'environnement Vol. 3 (5)	article	
Craig, H.	Isotopic variation in meteoric waters <a href="#">[BibTeX]</a>	1961	Science Vol. 133, pp. 1702-1703	article	
Dansgaard, W.	Stables isotopes in precipitations <a href="#">[BibTeX]</a>	1964	Tellus Vol. XVI (4), pp. 436-468	article	
Delmas, R. and Servant, J.	Acidification in Tropical Countries <a href="#">[BibTeX]</a>	1988	Vol. 36, pp. 43-72	inbook	
DERA and Röhling, S.	Länderkurzbericht Rohstoffsituation Kamerun <a href="#">[BibTeX]</a>	2012		techreport	
Dillon, P.	Groundwater pollution by sanitation on tropical islands <a href="#">[BibTeX]</a>	1997	(SC-97/WS/8)	techreport	
Djeuda Tchapnga, H., Tanawa, E., Temgoua, E., Siakeu, J. and Ngo Massana, B.	Mode de circulation, mécanismes de recharge et temps relatifs de séjour des eaux des nappes souterraines des altérites du milieu cristallin : cas du bassin versant de l'Anga'a, Yaounde <a href="#">[BibTeX]</a>	1999	Cameroun. Press Univ. Yaoundé, pp. 117-126	article	
Doby, J. and Mouchet, J.	Ecologie larvaire de quelques espèces de Culicidés dans la region de Yaoundé (Sud-Cameroun) <a href="#">[BibTeX]</a>	1957	Bulletin de la Societe de Pathologie exotique Vol. 50 (6), pp. 945-957	article	
Dumoutier, S.	Sources of contamination in springs and wells used for drinking water in low-income communities of Yaoundé, Cameroon <a href="#">[BibTeX]</a>	2003	School: Granfield University	mastersthesis	
Edmeades, D.	Nitrification and Urease Inhibitors <a href="#">[BibTeX]</a>	2004	(2004/22)	techreport	
Edwards, K., Classen, G. and Schrotten, E.	The water resource in tropical Africa and its exploitation <a href="#">[BibTeX]</a>	1983	(6)	techreport	
Eisenberg, J.	Morphogenese der Flusseinzugsgebiete von Nyong und Ntem in Süd-Kamerun unter Berücksichtigung neotektonischer Vorgänge <a href="#">[BibTeX]</a>	2009	School: Johann Wolfgang Univ. Frankfurt	phdthesis	
Ekodeck, G.E.	Characterisation des produits issus de l'alteration de quelques roches de la region de Yaounde par methode normative <a href="#">[BibTeX]</a>	1984	X?, pp. p14	article	
Endamana, D., Kengne, I., Gockowski, J., Nya, J., Wandji, D., Nyemeck, J., Soua, N. and Bakwowi, J.	Wastewater reuse for urban and periurban agriculture in Yaoundé Cameroon, Opportunities and constraints <a href="#">[BibTeX]</a>	2003	International Symposium on Water, Poverty and Productive uses of Water at the Household Level (21-23. Jan. 2003)	conference	
Eneke, G..T., Ayonghe, S.N., Chandrasekharam, D., Ntchancho, R., Ako, A., Mouncherou, O. and Thambidurai, P.	Controls on groundwater chemistry in a highly urbanised coastal area <a href="#">[Abstract]</a> <a href="#">[BibTeX]</a>	2011	Int. J. Environ. Res. Vol. 5 (2), pp. 475-490	article	
Enimelle Ndiomo, D., Mengue Mbom, A. and Assako Assako, R.	Remote Sensing and Rational Interventions for the Urban Development in Africa. The Case of Yaounde in Cameroon (Central Africa)			article	

Author	Title	Year	Journal/Proceedings	Reftype	DOI/URL
	<a href="#">[BibTeX]</a>				
ERA	Diagnostic de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement dans la ville de Dschang <a href="#">[BibTeX]</a>	2005		techreport	
Eriksson, E.	Composition of Atmospheric Precipitation II. Sulfur, chloride, iodine compounds. Bibliography <a href="#">[BibTeX]</a>	1952	Inst. of Pedology and Institute of General and Inorganic Chemistry - Royal Agricultural College of Sweden, Uppsala, pp. p24	article	
Erisman, J.W.	The Nanjing DEclaration on Management of Reactive Nitrogen <a href="#">[BibTeX]</a>	2004	BioScience Vol. 54 (4), pp. 286-287	article	
Ewodo, M., Ekwelgen, C., Ntep, F. and Ekodeck, G.	Impact of urbanisation on the Mingsosso watershed in the Yaounde perurban zone <a href="#">[BibTeX]</a>	2009	African J. Env. Science and Technology Vol. 3 (10), pp. 272-285	article	
Fantong, W., Satake, H., Aka, F., Ayonghe, S., Kasuyoshi, A., Mandal, A. and Ako Ako, A.	Hydrochemical and isotopic evidence of recharge, apparent age, and flow direction of groundwater in Mayo Tsanaga River Basin, Cameroon: bearings on contamination <a href="#">[BibTeX]</a>	2009	J Environ Earth Sci. Vol. 60 (1), pp. 107-120	article	
Fantong, W.Y., Fouépé, A.T., Issa, Djomou, S.L.B., Banseka, H.S., Anazawa, K., SMA, A., Mendjo, J.W., Aka, F.T., Ohba, T., Hell, J.V. and Nkeng, G.E.	Temporal pollution by nitrate (NO <sub>3</sub> ), and discharge of springs in shallow crystalline aquifers: Case of Akok Ndoue catchment, Yaounde (Cameroon) <a href="#">[BibTeX]</a>	2013	African Journal of Environmental Science and Technology Vol. 7 (5), pp. 175-191	article	
Feumba, R., Ngounou Ngatcha, B., Tabue Youmbi, J.G. and Ekodeck	Relationship between Climate and Groundwater Recharge in the Besseke Watershed (Douala-Cameroon) <a href="#">[BibTeX]</a>	2011	J. Water Resources and Protection Vol. 3, pp. 607-619	article	
Fewtrell, L.	Drinking-Water Nitrate, Methemoglobinemia, and Global Burden of Disease: A Discussion <a href="#">[BibTeX]</a>	2004	Env. Health Perspectives Vol. 112 (14), pp. 1371-1374	article	
Florida and Hazen and Sawyer	Florida Onsite Sewage Nitrogen Reduction Strategies Study <a href="#">[BibTeX]</a>	2009	((Task C.2))	techreport	
Fomo, M.A.	EPESS - Résumé de l'EPESS résultats de l'enquête auprès des ménages riverains et recommandations <a href="#">[BibTeX]</a>	2013		unpublished	
Fomo, M.A. and Kringel, R.	EPESS - Principaux résultats - Etude Pilote sur la Pollution des Eaux de Surface et Souterraines à Yaoundé et son Impact sur la Santé des Populations Riveraines <a href="#">[BibTeX]</a>	2013		unpublished	
Fonge, B., Egbe, E., Fongod, A., Tening, A., Achu, R., Yinda, G. and Mwondo, Z.	Effects of Land Use on Macrophyte Communities and Water Quality in the Ndop Wetland Plain, Cameroon <a href="#">[BibTeX]</a>	2012	J. Agric. Soc. Sci. Vol. 12, pp. 41-49	article	
Fonkou, T., Nguetsop, V.F., Pinta, J.Y., DEkoum, V.M., LefeuFack, M. and Amougou, A.	Macrophyte diversity in polluted and non-polluted wetlands in Cameroon <a href="#">[BibTeX]</a>	2005	Cameroon J. Experimental Biology Vol. 01, pp. 26-33	article	
Foster, S., Garduno, H., Tuinhof, A., Kemper, K. and Nanni, M.	Urban Wastewater as Groundwater Recharge - evaluating and managing the risks and benefits <a href="#">[BibTeX]</a>	2005	(12), pp. 6	book	
Foster, S., Tuihof, A., Kemper, K., Garduno, H. and Nanni, M.	Characterization of Groundwater Systems - key concepts and frequent misconceptions <a href="#">[BibTeX]</a>	2003	(2), pp. 6	book	

Author	Title	Year	Journal/Proceedings	Reftype	DOI/URL
Foster Stephen and Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M. and Paris, M.	Groundwater Quality Protection - a guide for water utilities, municipal authorities, and environment agencies <a href="#">[BibTeX]</a>	2002		book	
Fouepe Takounjou, A.	Modélisation des écoulements souterrain dans les aquifères peu profonds en milieu cristallin: Le cas du bassin amont de l'Anga'a, Yaoundé-Cameroun. <a href="#">[BibTeX]</a>	2013		unpublished	
Fouépé Takounjou, A.	Groundwater flow modelling and mass transport simulation of a shallow aquifer on crystalline basement: the case of the Anga'a river watershed <a href="#">[BibTeX]</a>	2012	School: Univ. Yaoundé	phdthesis	
Fouepe Takounjou, A., Gurunadha Rao, V., Ndam Ngoupayou, J., Sigha Nkamdjou, L. and Ekodeck, G.	Groundwater flow modelling in the upper Anga'a river watershed, Yaounde, Cameroon <a href="#">[BibTeX]</a>	2009	African J. Env. Science and Technology Vol. 3 (10)(6), pp. 341-352	article	
Fouépé Takounjou, A., Kuitcha, D., Fantong, W., Ewodo, M., Khan Haris, H., Issa and Ohba, T.	Assessing Groundwater Nitrate Pollution in Yaoundé, Cameroon: Modelling Approach <a href="#">[BibTeX]</a>	2013	World Applied Sciences J. Vol. 23 (3), pp. 333-344	article	
Fouepe Takounjou, A., Kuitcha, D., Sigha Nkamdjou, L. and Ntonga, J.	Impact de la vulnérabilité des ressources en eau de surface sur l'accès à l'eau potable des populations de la ville de Yaoundé: stratégies d'adaption <a href="#">[BibTeX]</a>	2011	(6), pp. 4	incollecion	
Franqueville, A.	Le paysage urbain de Yaoundé <a href="#">[BibTeX]</a>	1968	Les CahiersD'Outre-Mer Vol. 82 (21eme Annee), pp. p49	article	
Freydier, R., Dupré, B. and Delmas, R.	Lead in rainwaters from intertropical Africa: Natural or anthropogenic origin? <a href="#">[BibTeX]</a>	1999	J. Geophysical Res. Vol. 104 (D13), pp. 16001-16008	article	
Galbally, I.E. and Gillet, R.W.	Processes Regulating Nitrogen Compounds in the Tropical Atmosphere <a href="#">[BibTeX]</a>	1988	, pp. 73-116	inbook	
Galloway, J., DENTENER, F., CAPONE, D., BOYER, E., HOWARTH, R., SEITZINGER, S., ASNER, G., CLEVELAND, C., GREEN, P., HOLLAND, E., KARL, D., MICHAELS, A., J.H., P., TOWNSEND, A. and VOROSMARTY, C.	Nitrogen cycles: past, present, and future <a href="#">[BibTeX]</a>	2004	Biogeochemistry Vol. 70, pp. 153-226	article	
Galloway, J.N.	Effects of Acid Deposition on Tropical Aquatic Ecosystems <a href="#">[BibTeX]</a>	1988	, pp. 141-166	inbook	
Galy-Lacaux, C., Laouali, D., Descroix, L., Gobron, N. and Lioussse, C.	Long term precipitation chemistry and wet deposition in a remote dry savanna site in Africa (Niger) <a href="#">[BibTeX]</a>	2008	Atmos. Chem. Phys. Discuss. Vol. 8, pp. 5761-5812	article	
Ganwa, A.A., Frisch, W., Siebel, W., Ekodeck, G.E., Shang, C.K. and Ngako, V.	Archean inheritances in the pyroxene-amphibole-bearing gneiss of the Ménganga area (Central North Cameroon): Geochemical and 207Pb/206Pb age imprints <a href="#">[BibTeX]</a>	2008	C.R. Geoscience Vol. 340, pp. 211-222	article	
Garduno, H., Foster, S., Dumars, C., Kemper, K., Tuinhof, A. and Nanni, M.	Groundwater Abstraction Rights - from theory to practice <a href="#">[BibTeX]</a>	2004	(5)	book	
Garduno, H., Foster, S., Nanni, M., Kemper, K., Tuinhof, A. and Koundouri, P.	Groundwater Dimensions of National Water Resource and River Basin Planning - promoting an integrated strategy <a href="#">[BibTeX]</a>	2006	(10)	book	

Author	Title	Year	Journal/Proceedings	Reftype	DOI/URL
Gerba, C., Wallis, C. and J.L., M.	Fate of wastewater bacteria and viruses in soil <a href="#">[BibTeX]</a>	1975	Proceedings of the American Society of Civil Engineers, J. Irrig. Drain. Div. Vol. 101, pp. 157-174	article	
Gioda, A., Reyes-Rodríguez, G.J., Santos-Figueroa, G., Collett Jr., J.L., Decesari, S., da Conceição K. V. Ramos, M., Bezerra Netto, H.J.C., de Aquino Neto, F.R. and Mayol-Bracero, O.L.	Speciation of water soluble inorganic, organic, and total nitrogen in a background marine environment: Cloud water, rainwater, and aerosol particles <a href="#">[Abstract]</a> <a href="#">[BibTeX]</a>	2011	J. Geophysical Res. Vol. 116, pp. p17	article	
Godfrey, S., Labhasetwar, P., Wate, S. and Jimenez, B.	Safe greywater reuse to augment water supply and provide sanitation in semi-arid areas of rural India <a href="#">[BibTeX]</a>	2010	Water Sci Technol. Vol. 62(6), pp. 1296-1303	article	
Gonfiantini, R., Roche, M.-A., Olivry, J.-C., Fontes, J.-C. and Zuppi, G.M.	The altitude effect on the isotopic composition of tropical rains <a href="#">[BibTeX]</a>	2001	Chem. Geol. Vol. 181, pp. 147-167	article	
Gowing, J.	Food security for sub-Saharan Africa: does water scarcity limit the options? <a href="#">[BibTeX]</a>	2003	Land Use and Water Resources Research Vol. 3, pp. 2.1-2.7	article	
Graf, J., Zebaze Togouet, S., Kemka, N., Niyitegeka, D., Meierhofer, R. and Gangoue Pieboji, J.	Health gains from solar water disinfection (SODIS): evaluation of a water quality intervention in Yaoundé, Cameroon <a href="#">[BibTeX]</a>	2010	J. Water and Health Vol. 08.4, pp. 779-796	article	
Greger, M. and Koneswaran, G.	The Public Health Impacts of Concentrated Animal Feeding Operations on Local Communities <a href="#">[BibTeX]</a>	2010	Fam. Community Health Vol. 33(1), pp. 373-382	article	
Gruber, N. and Galloway, J.N.	An Earth-system perspective of the global nitrogen cycle <a href="#">[BibTeX]</a>	2008	Nature Vol. 451 (17), pp. 293-296	article	
Gusman, J.A. and Marino, M.	Modelling of nitrogen dynamics in the subsurface environment <a href="#">[BibTeX]</a>	1999	(259)Proceedings of Impacts of Urban Growth on Surface and Groundwater Quality (IUGG99)	inproceedings	
Harden, H., Chanton, J., Hicks, R. and Wade, E.	Wakulla County Septic Tank Study Phase II Report on Performance Based Treatment Systems <a href="#">[BibTeX]</a>	2010		techreport	
Helmreich, B. and Horn, H.	Opportunities in rainwater harvesting <a href="#">[Abstract]</a> <a href="#">[BibTeX]</a>	2009	Desalination Vol. 248, pp. 118-124	article	
Herut, B., Starinsky, A., Katz, A. and Rosenfeld, D.	Relationship between the acidity and chemical composition of rainwater and climatological conditions along a transition zone between large deserts and Mediterranean climate, Israel <a href="#">[BibTeX]</a>	2000	Atmospheric Environment Vol. 34, pp. 1281-1292	article	
Ikounga, M.	Analyse fine du mecanisme de la formation du ruissellement sur sols ferrallitiques sous foret (Region de Yaounde-Cameroun) <a href="#">[BibTeX]</a>	1978	School: Univ. Pierre et Marie Curie	phdthesis	
INS	Annuaire Statistique du Cameroun 2007 <a href="#">[BibTeX]</a>	2007		techreport	
INS	ENQUETE SUR LE CADRE DE VIE DES POPULATIONS DE YAOUNDE ET DE DOUALA EN 2002, VOLUME I, METHODOLOGIE DE L'ENQUETE ET SYNTHESE DES RESULTATS DE L'ECAM II SUR L'ACTIVITE ET LA CONSOMMATION DES MENAGES <a href="#">[BibTeX]</a>	2003	(Volume I)	techreport	
ISO 5667-11:2009	Water quality - Sampling - Part 11: Guidance on sampling of groundwaters	2009		book	

Author	Title	Year	Journal/Proceedings	Reftype	DOI/URL
	<a href="#">[BibTeX]</a>				
IUGS Working Group WRB	World Reference Base for Soil Ressources 2006, first update 2007 <a href="#">[BibTeX]</a>	2007		book	
Jacobson, M., Webster, M. and Vairavamoorthy, K.	The Future of Water in African Cities: Why Waste Water <a href="#">[BibTeX]</a>	2012	, pp. 139	book	<a href="#">URL</a>
Jain, J., Sharma, D., Sohu, D. and Sharma, P.	Chemical Analysis of Drinking Water of Villages of Sanganer Tehsil, Jaipur District <a href="#">[BibTeX]</a>	2005	Int. J. Env. Science and Technology Vol. 2 (4), pp. 373-379	article	
Jain, N.	Getting Africa to meet the sanitation MDG - Lessons from Rwanda <a href="#">[BibTeX]</a>	2011		techreport	<a href="#">URL</a>
Jonnalagadda, S., Makadho, J., Matinde, N., Karimanzira, R. and Makarau, A.	Chemical composition of rainwater and air quality in Zimbabwe, Africa <a href="#">[BibTeX]</a>	1994	The Science of the Total Environment Vol. 144, pp. 261-271	article	
Jönsson, H... and Vinneras, B.	Adapting the nutrient content of urine and faeces in different countries using FAO and Swedish data <a href="#">[BibTeX]</a>	2004	Ecosan -closing the loop. Proceedings of the 2nd international symposium on ecological sanitation, incorporating the 1st IWA specialist group conference on sustainable sanitation, pp. 623-626	inproceedings	
Joseph, A. and Girard, P.	Etude de la pollution en nitrate des aquifères du socle: exemple de la nappe de Niamey <a href="#">[BibTeX]</a>	1990		techreport	
Kamdem, J.F.	Evaluation d'un projet d'hydraulique : cas du projet d'alimentation de l'eau potable <a href="#">[BibTeX]</a>	2009	School: Universite de Yaounde 2, Universite de Rennes 1	mastersthesis	
Kamgang, K.B. and Ekodeck, G.E.	Alteration et bilans geochemiques des biotites des gneiss de Nkolbisson (NW de Yaoundé, Cameroun) <a href="#">[BibTeX]</a>	1994	Geodynamique Vol. 6 (2), pp. 191-199	article	
Kamgang Kabeyene Beyala, V., Onana, V.L., Effoudou Prisoa, E.N., Parisot, J.-C. and Ekodeck, G.E.	Behaviour of REE and mass balance calculations in a lateritic profile over chlorite schists in South Cameroon <a href="#">[BibTeX]</a>	2009	Chemie der Erde / Geochemistry Vol. 69, pp. 61-73	article	
Katte, M., Fonteh and Guemeh, G.N.	Effectiveness of Home Water Treatment Methods in Dschang, Cameroon <a href="#">[BibTeX]</a>	2005	Cameroon J. Experimental Biology Vol. 1 (2), pp. 102-106	article	
Kebila, B.S.	Analysis of the rainfall-runoff pattern of a catchment with limited data to estimate the runoff potential <a href="#">[BibTeX]</a>	2008	School: Lund University, Div. of Water Resources Engineering, Dept. of Building and Environmental Technology	mastersthesis	
Kenfack, J.V., Tadjou, J.M., Kamguia, J., Tabod, T.C. and Bekoa, A.	Gravity Interpretation of the Cameroon Mountain (West Central Africa) Based on the New and Existing Data <a href="#">[BibTeX]</a>	2011	International J. Geosciences Vol. 2, pp. 513-522	article	
Kengne, I.M.	Etat de l'Assainissement des eaux usées à Yaoundé: Situation actuelle et etat des recherches <a href="#">[BibTeX]</a>	2013		unpublished	
Kilham, P.	Mechanisms controlling the chemical composition of lakes and rivers: Data from Africa <a href="#">[BibTeX]</a>	1990	Limnol. Oceanogr. Vol. 35 (1), pp. 80-83	article	
Kirchmann, H. and Pettersson	Human urine - Chemical composition and fertilizer use efficiency	1995	Fertilizer Research Vol. 40, pp. 149-154	article	

Author	Title	Year	Journal/Proceedings	Reftype	DOI/URL
	<a href="#">[BibTeX]</a>				
Knippertz, P. and Fink, A.H.	Prediction of Dry-Season Precipitation in Tropical West Africa and its Relation to Forcing from the Extratropics <a href="#">[BibTeX]</a>	2009	Weather and Forecasting Vol. submitted, pp. p59	article	
Kone, D.	EPURATION DES EAUX USÉES PAR LAGUNAGE À MICROPHYTES ET À MACROPHYTES EN AFRIQUE DE L'OUEST ET DU CENTRE: ETAT DES LIEUX, PERFORMANCES ÉPURATOIRES ET CRITÈRES DE DIMENSIONNEMENT <a href="#">[BibTeX]</a>	2002	School: ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE	phdthesis	
Kopacek, J., Hejzlar, J. and Mosello, R.	Estimation of Organic Acid Anion Concentrations and Evaluation of Charge Balance in Atmospherically Acidified Colored Waters <a href="#">[BibTeX]</a>	2000	Wat. Res. Vol. 34(14), pp. 3598-3606	article	<a href="#">DOI</a>
Kouam Kenmogne, G.R., Rosillon, F., Mpakam, H.G. and Nono, A.	Enjeux sanitaires, socio-économiques et environnementaux liés à la réutilisation des eaux usées dans le maraichage urbain: cas du bassin versant de L'Abiergué (Yaoundé-Cameroun) <a href="#">[BibTeX]</a>	2010	Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement	mastersthesis	<a href="#">URL</a>
Kouam Kenmogne Guy Romain amd Ntep, F., Rosillon, F., Mpakam, H.G., Nono, A. and Djeuda Tchappinga, H.B.	Hydrodynamique souterraine et vulnérabilité à la pollution des ressources an eau en zone urbaine tropicale: cas du bassin versant de Mingoa (Yaoundé-Cameroun) <a href="#">[BibTeX]</a>	2010	Colloque Eau, Déchets et Développement Durable	conference	
Krekeler, T.	Decentralised Sanitation and Wastewater Treatment <a href="#">[BibTeX]</a>	2008	Federal Institute for Geosciences and Natural Resources	booklet	<a href="#">URL</a>
Kringel, R.	Überlebensstrategie urbanes Grundwasser --- Situation kurz vor der Regenzeit <a href="#">[BibTeX]</a>	2014		conference	
Kringel, R.	EPESS - Echantillons d'eau souterraine et qualité chimique de l'eau souterraine a la fin de la saison sèche <a href="#">[BibTeX]</a>	2013		unpublished	
Kringel, R.	Cookbook --- How to produce Piper-diagrams and other useful hydrogeological and statistical analysis of water quality parameters using MA-software by Bahr, A. / BGR Germany Material pertaining to course: „Elements of Groundwater Monitoring: Consolidating Groundwater Quality Data and Hydrochemical Characterization of Groundwater“ Amman, May, 29th to June, 1th 2011 <a href="#">[BibTeX]</a>	2011		techreport	
Kringel, R., Fronius, A., Museteka, L. and Nick, A.	Assessment of the CVOC- and BTEX-contamination level in Lusaka Groundwater in 2010 --- based on --- Developing and testing a method to sample and analyse groundwater containing organic volatile substances after extended storage, Tech. Note No. 5 Development of a Groundwater Information and Management Program for the Lusaka Groundwater Systems <a href="#">[Abstract]</a> <a href="#">[BibTeX]</a>	2011		techreport	
Kross, B.	Nitrate Toxicity and Drinking Water Standards - A Review <a href="#">[BibTeX]</a>	2002	J. Preventive Medicine Vol. 10 (1), pp. 3-10	article	
Kucera, V.	The Effect of Acidification on Corrosion of Structures and Cultural Property <a href="#">[BibTeX]</a>	1988	, pp. 167-194	inbook	
Kuété	Etude géomorphologique du massif de Yaoundé <a href="#">[BibTeX]</a>	1977	School: Univ. Bordeaux	phdthesis	
Kuete, M.	Les paléofomes quaternaires du sud Cameroun forestier	1990	Geodynamique de la Surface, pp. 161-166	inbook	

Author	Title	Year	Journal/Proceedings	Reftype	DOI/URL
	<a href="#">[BibTeX]</a>				
Kuitcha, D., Fouépé Takounjou, A., Ndjama, J., Takem Eneke, G., Tita Awah, M. and Kamgang Kabeyene, B.	Chemical and isotopic signal of precipitation in Yaounde-Cameroon <a href="#">[BibTeX]</a>	2012	Archives of Applied Science Research Vol. 4 (6), pp. 2591-2597	article	
Kuitcha, D., Fouepe Takounjou, A.L. and Ndjama	Apport de l'hydrochimie et de l'isotope de l'environnement à la connaissance des ressources en eaux souterraines de Yaoundé, Cameroun <a href="#">[BibTeX]</a>	2013	J. Appl. Biosci. Vol. 67, pp. 5194-5208	article	
Kuitcha, D., Kamgang Kabeyene, B.V., Sigha Nkamdjou, L., Lienou, G. and Ekodeck, G.E.	Water supply, sanitation and health risks in Yaounde, Cameroon <a href="#">[BibTeX]</a>	2008	African J. Env. Science and Technology Vol. 2 (11), pp. 379-386	article	
Kuitcha, D., Ndjama, J., Tita Awah, M., Lienou, G., Kamgang Kabeyene, B.V., Ateba, B.H. and Ekodeck, G.E.	Bacterial contamination of water points of the upper Mfoundi watershed, Yaounde, Cameroon <a href="#">[BibTeX]</a>	2010	African J. Microbiology Research Vol. 4 (7), pp. 568-574	article	
Kuitcha-Kengni, D.	EPESS - Caractérisation isotopiques des eaux de Yaoundé <a href="#">[BibTeX]</a>	2013		unpublished	
Lee, B., Franzmeier, D., Owens, P. and Jones, D.	Seasonally High Water Tables and Septic Systems <a href="#">[BibTeX]</a>	2005	{{HENV-12-W}}	techreport	<a href="#">URL</a>
Lee, B. and Jones, D.	Water Use and Septic System Performance <a href="#">[BibTeX]</a>	2004	{{HENV-9-W}}	techreport	<a href="#">URL</a>
Lee, B. and Jones, D.	Septic Tanks: The primary Treatment Device of Your Septic System <a href="#">[BibTeX]</a>	2004	{{HENV-5-W}}	techreport	<a href="#">URL</a>
Lee, B., Jones, D. and Bourke, C.	Gravel and Gravelless Trench Soil Absorption Fields <a href="#">[BibTeX]</a>	2004	{{HENV-8-W}}	techreport	<a href="#">URL</a>
Lee, B., Jones, D. and Peterson, H.	Septic System Failure <a href="#">[BibTeX]</a>	2005	{{HENV-1-W}}	techreport	<a href="#">URL</a>
Lee, B., Jones, D. and Turco, R.	Wastewater Biological Oxygen Demand in Septic Systems <a href="#">[BibTeX]</a>	2006	{{HENV-14-W}}	techreport	<a href="#">URL</a>
Lee, B., Jones, D. and Turco, R.	Septic System Additives <a href="#">[BibTeX]</a>	2005	{{HENV-13-W}}	techreport	<a href="#">URL</a>
Lee, M. and Bastemeijer, F.	Drinking Water Source Protection - A review of environmental factors affecting community water supplies <a href="#">[BibTeX]</a>	1991	{{Occasional Paper} 15}	techreport	
Le Marechal, A.	Geologie et Geochemie des Sources Thermominerales du Cameroun <a href="#">[BibTeX]</a>	1976	(59)	techreport	
Lienou, G.	Impacts de la variabilité climatique sur les ressources en eau et les transports de matières en suspension de quelques bassins versants représentatifs au Cameroun. <a href="#">[BibTeX]</a>	2007	School: Univ. Yaounde	phdthesis	
Lieunang Letche, A.R., Fonteh, M.F. and Ndam Ngoupayou, J.R.	La Gestion Intégrée des Ressources en Eau (Gire) au Cameroun: Préoccupations environnementales affectant la gestion des ressources en eau dans le bassin versant de la Mefou <a href="#">[Review]</a> <a href="#">[BibTeX]</a>	2012		book	
Loomis, G.	Nitrogen Dynamics in Onsite Wastewater Treatment Systems <a href="#">[BibTeX]</a>	2010	2010 Land Grant and Sea Grant National Water Conference	electronic	
Loose, D. and Schenk, V.	Pan-African crustal thickening and Palaeoproterozoic eclogite facies metamorphism in Cameroon			electronic	

Author	Title	Year	Journal/Proceedings	Reftype	DOI/URL
	<a href="#">[BibTeX]</a>				
Mafany, G., Fantong, W. and Nkeng, G.	Groundwater quality in Cameroon an its vulnerability to pollution in Groundwater Pollution in Africa <a href="#">[Abstract]</a> <a href="#">[BibTeX]</a>	2006	, pp. 47-55	inbook	
Maffesoli, M.	La conquête du présent. Pour une sociologie de la vie quotidienne <a href="#">[BibTeX]</a>	1979	, pp. 227	book	
McDowell, W.H.	Potential Effects of Acid Deposition on Tropical Terrestrial Ecosystems <a href="#">[BibTeX]</a>	1988	, pp. 117-139	inbook	
McNeill, A., Eriksen, J., Bergstroem, L., Smith 3, K., Marstorp, H., Kirchmann, H. and Nilsson, I.	Nitrogen and sulphur management: challenges for organic sources in temperate agricultural systems <a href="#">[BibTeX]</a>	2005	Soil use and Management Vol. 21, pp. 82-93	article	
Mfopou Mewouo, Y.C., Ndam Ngoupayou, J., Yemefack, M. and Agoume, V.	Physico-chimie des pluies du sud Cameroun forestier <a href="#">[BibTeX]</a>	2009	Tropicultura Vol. 27 (4), pp. 239-245	article	
Middelburg, J.J., Van der Weijden, C. and Wioittiez, J.R.	Chemical processes affecting the mobility of major, minor and trace elements during weathering of granitic rock <a href="#">[BibTeX]</a>	1988	Chem. Geol. Vol. 68, pp. 252-273	article	
Minoia, C., Sabbioni, E., Apostoli, P., Pietra, R., L., P., Gallorini, M., Nicolaou, G., Alessio, L. and Capodaglio, E.	Trace element reference values in tissues from inhabitants of the European Community I. A study of 46 elements in urine, blood and serum of italian subjects <a href="#">[BibTeX]</a>	1990	The Science of the Total Environment Vol. 95, pp. 89-105	article	
Möller, D.	The Na/Cl ratio in rainwater and the seasalt chloride cycle <a href="#">[BibTeX]</a>	1990	Tellus Vol. 42B, pp. 254-262	article	
Moncherou, O.F., Moundi, A., Ndam Ngoupayou, J.R., Ako, A.A. and Wandji, P.	Paramètres chimiques et source lithologique de la minéralisation des eaux souterraines des aquifères du Plateau Bamoun, Ligne Volcanique du Cameroun (LVC) <a href="#">[BibTeX]</a>	2011	Vol. 72 (pt 1-3)Review of the Bulgarian Geological Society, pp. 67-78	inproceedings	
Mougoué, B., Ngnikam, E., Wanko, A., Feumba, R. and Nomba, I.	Analysis of faecal sludge management in the cities of Douala and Yaoundé in Cameroon <a href="#">[BibTeX]</a>	2012	Sustainable Sanitation Practice Vol. 13, pp. 11-21	article	
Mpakam, H.	Étude des facteurs de pollution des ressources en eau en milieu urbain: cas de Bafoussam (Ouest-Cameroun) <a href="#">[BibTeX]</a>	2006	School: Univ. Yaoundé	phdthesis	
Mpakam, H., Kouam Kenmogne, G.R., Tamo Tatiéte, T., Maire, E., Boeglin, J.-L., Ekodeck, G. and Dupre, B.	Étude des facteurs de pollution des ressources en eau en milieu urbain: cas de Bafoussam (Ouest-Cameroun) <a href="#">[BibTeX]</a>			techreport	
Mvondo, H., Owona, S., Ondoa, J.M. and Essono, J.	Tectonic evolution of the Yaoundé segment of the Neoproterozoic Central African Orogenic Belt in southern Cameroon <a href="#">[Abstract]</a> <a href="#">[BibTeX]</a>	2007	Canadian J. Earth Sciences Vol. 44 (4), pp. 433-444	article	
Mvondo, H., S.W.J. den Brok, S. and Mvondo Ondoa, J.	Evidence for symmetric extension and exhumation of the Yaounde nappe (Pan-African fold belt, Cameroon) <a href="#">[BibTeX]</a>	2003	J. African Earth Sciences Vol. 36, pp. 215-231	article	
Mwenge Kahinda, J. and Taigbenu, A.	Rainwater harvesting in South Africa: Challenges and opportunities <a href="#">[Abstract]</a> <a href="#">[BibTeX]</a>	2011	Physics and Chemistry of the Earth Vol. 36, pp. 968-976	article	
Mwenge Kahinda, J., Taigbenu, A. and Boroto, J.	Domestic rainwater harvesting to improve water supply in rural South Africa <a href="#">[Abstract]</a> <a href="#">[BibTeX]</a>	2007	Physics and Chemistry of the Earth Vol. 32, pp. 1050-1057	article	
Naah, M.	Impact of the urban development of the Mingoa River watershed on the Municipal Lake of Yaoundé, Cameroon	2009	(9)Urban waters: resource or risks? - 9th Worldwide Workshop for Young	conference	

Author	Title	Year	Journal/Proceedings	Reftype	DOI/URL
	<a href="#">[BibTeX]</a>		Environmental Scientists		
NASA and Hanford, A.J.	Advanced Life Support Baseline Values and Assumption Document <a href="#">[BibTeX]</a>	2004	(NASA/CR-2004-208941)	techreport	
NASA and Putnam, D.E.	Composition and Concentrative Properties of Human Urine <a href="#">[BibTeX]</a>	1971		techreport	
Ndam Ngoupayou, J.	Influence de la variabilité climatique et des activités anthropiques sur les transferts d'eau et de matières dans un écosystème forestier urbanisé d'Afrique : du bassin versant du Mfoundi (Yaoundé) au fleuve Nyong (Mbal Mayo) dans le Sud du Cameroun <a href="#">[BibTeX]</a>	2013		unpublished	
Ndam Ngoupayou, J., Apouamoun, R., Youego Sihon, J., Ngnike, P., Boeglin, J.-L. and Bedimo, J.-P.	Transferts d'eau et de matières dans un écosystème forestier urbanisé en Afrique : le bassin versant de la Mefou au Sud du Cameroun <a href="#">[BibTeX]</a>	2007	Actes des JSIRAUF	incollecion	
Ndjama, J., Kamgang Kabeyene, B.V., Sigha Nkamdjou, L., Ekodeck, G. and Tita, M.A.	Water supply, sanitation and health risks in Douala, Cameroon <a href="#">[BibTeX]</a>	2008	African J. Env. Science and Technology Vol. 2 (12), pp. 422-429	article	
Ndjigui, P.-D., Badinane, M., Nyeck, B. and Nandjip H.P.K. and Bilong, P.	Mineralogical and geochemical features of the coarse saprolite developed on orthogneiss in the SW of Yaoundé, South Cameroon <a href="#">[BibTeX]</a>	2013	J. African Earth Sciences Vol. 79, pp. 125-142	article	
Ndougma Mbarga, T.	Cameroon Geological Setting <a href="#">[BibTeX]</a>	2009	presentation available in the internet	misc	
Neill, C., Piccolo, M.C., Cerri, C.C., Steudler, P.A. and Melillo Jerry M. and Brito, M.	Net nitrogen mineralization and net nitrification rates in soils following deforestation for pasture across the southwestern Brazilian Amazon Basin landscape <a href="#">[Abstract]</a> <a href="#">[BibTeX]</a>	1997	Oecologia Vol. 110, pp. 243-252	article	
Ngigi, S.N.	What is the limit of up-scaling rainwater harvesting in a river basin? <a href="#">[Abstract]</a> <a href="#">[BibTeX]</a>	2003	Physics and Chemistry of the Earth Vol. 28, pp. 943-956	article	
Ngnikam, E., Mougoue, B. and Tietche, F.	Eau, Assainissement et impact sur la santé: étude de cas d'un écosystème urbain à Yaoundé <a href="#">[BibTeX]</a>	2007	Actes des JSIRAUF	incollecion	
Ngnikam, E., Tabue Yombi, G. and Mougoue, B.	Assainissement et impact sur la qualité des eaux souterraines dans un écosystème urbanisé au Cameroun <a href="#">[BibTeX]</a>	2008	abstract	incollecion	
Ngnikam, E., Tanawa, E., Tchoungang, C. and Oliete-Josa, S.	Le Programme d'amélioration des conditions de vie dans le quartiers de Yaoundé 6 : exemple de changement d'échelle d'une démarche participative <a href="#">[BibTeX]</a>	2004	Building Bridges with the Grassroots: Scaling up through knowledge sharing, pp. 21	inproceedings	
Ngotue, t., Nzenti, J., Barbey, P. and Tchoua, F.	the Ntui-Betamba high-grade gneisses: a northward extension of the Pan-African Yaoundé gneisses in Cameroon <a href="#">[BibTeX]</a>	2000	J. African Earth Sciences Vol. 31 (2), pp. 369-381	article	
Ngon Ngon, G., Yongue-Fouteu, R., Bitom, D. and Bilong, P.	A geological study of clayey laterite and clayey hydromorphic material of the region of Yaoundé (Cameroon): a prerequisite for local material promotion <a href="#">[BibTeX]</a>	2009	J. African Earth Sciences Vol. 55, pp. 69-78	article	
Ngounou Ngatcha, B., Murdry, J. and Sarrot, R.	Groundwater recharge from rainfall in the southern border of Lake Chad in Cameroon <a href="#">[BibTeX]</a>	2007	World Appl. Sci. Vol. J2, pp. 125-131	article	

Author	Title	Year	Journal/Proceedings	Reftype	DOI/URL
Ngonou Ngatcha, B., Sebag, D., Diedhiou, A., Durand, A. and Servat, E.	Colloque International "Science de L'eau, du Climat et de l'Environnement pour un developpement durable de l'Afrique" <a href="#">[BibTeX]</a>	2001	Livre des resumes	conference	
Nguendo Yongsi, H.B.	Access and Management of Drinking Water in Developing Cities: Evidence from Yaoundé (Cameroon) <a href="#">[BibTeX]</a>	2011	Res. J. Env. Science Vol. 5 (2), pp. 124-133	article	
Nguendo Yongsi, H.B.	Microbiological Evaluation of Drinking Water in a Sub-Saharan Urban Community (Yaoundé) <a href="#">[BibTeX]</a>	2011	American J. Biochemistry and Molecular Biology Vol. 1 (1), pp. 68-81	article	
Nguendo Yongsi, H.B.	Education and Religious Beliefs: Supportive Determinants in the Understanding of Health Issues in Sub-Saharan Africa <a href="#">[BibTeX]</a>	2010	Ethno Med Vol. 4 (2), pp. 81-94	article	
Nguendo Yongsi, H.B.	Human Settlement, Land Management and Health in Sub-Saharan Cities <a href="#">[BibTeX]</a>	2009	Int. J. Human and Social Sciences Vol. 4 1, pp. 10-17	article	
Nguendo Yongsi, H.B., Hermann, T.M., Lutumba Ntetu, A., Sietchiping, R. and Bryant, C.	Environmental Sanitation and Health Risks in Tropical Urban Settings: Case Study of Household Refuse and Diarrhea in Yaoundé-Cameroon <a href="#">[BibTeX]</a>	2008	Int. J. Human and Social Sciences Vol. 3:3, pp. 220-228	article	
Nguendo Yongsi, H.B., Ntetu Lutumba, A., Bryant, R.C., Ojuku, T. and Hermann, T.M.	Uncontrolled Draining of Rainwater and Health. Consequences in Yaoundé - Cameroon <a href="#">[BibTeX]</a>	2009	Acta Universitaria (Universidad de Guanajuato, Mexico) Vol. 19 (2), pp. 20-30	article	<a href="#">URL</a>
Nguendo Yongsi, H.B., Salem, G. and Bruneau, J.-C.	Épidémiologie géographique des maladies diarrhéiques à Yaoundé (Cameroun) <a href="#">[BibTeX]</a>	2008	M@ppemonde Vol. N 89 (1-2008), pp. 17	article	<a href="#">URL</a>
Nguetnkam, J.-P., Kamga, R., Villiéras, F., Ekodeck, G.-E. and Yvon, J.	Altération du granite en zones tropicales - Exemple de deux séquences étudiées au Cameroun (Afrique Centrale) <a href="#">[BibTeX]</a>	2007	Etudes et Gestion des Sols Vol. 14 (1), pp. 31-41	article	
Nick, A., Foppen, J.W., Kulabako, R., Xavier, D.L., Samwel, M., Wagner, F. and Wolf, L.	Sustainable sanitation and groundwater protection <a href="#">[BibTeX]</a>	2012		techreport	
Nick, A., Museteka, L. and Kringel, R.	Hydrochemical Sampling of Groundwater in the Lusaka Urban Area (April/May 2010) and Preliminary Findings Tech. Note No 3 Development of a Groundwater Information and Management Program for the Lusaka Groundwater Systems <a href="#">[Abstract]</a> <a href="#">[BibTeX]</a>	2010	(3)	techreport	
Njiné, T., Monkiedje, A., Nola, M. and Sikatifoko, V.	Evaluation de la charge polluante et de la charge bactérienne des rejets des stations d'épuration à boues activées à Yaoundé (Cameroun) <a href="#">[BibTeX]</a>	2001	Cahier Santé Vol. 11, pp. 79-84	article	
Njitchua, R., Aranyossi, J., Fontes, J., Michelot, J., Naah, E. and Zuppi, G.	Oxygen-18, deuterium et chlorures dans les précipitations a Garoua (Nord-Cameroon): implications météorologiques <a href="#">[BibTeX]</a>	1995	C R Acad. Sci. Paris Vol. Ser {IIa}(321), pp. 853-860	article	
Nougang, M.E., Nola, M., Ateba Bessa, H., Tamatcho Kweyang, B.P., Noah Ewoti, O.V. and M. Mougang, L.	Prevalence of pathogenic strains of Escherichia coli in urban streams in the equatorial region of Cameroon (Central Africa) <a href="#">[BibTeX]</a>	2011	J. Appl. Bioscience Vol. 48, pp. 3293-3305	article	
Nougang, M.E., Nola, M., Djuikom, E., Noah Ewoti, O.V., Mougang, L.M. and Ateba Bessa, H.	Abundance of Faecal Coliforms and Pathogenic <i>E. coli</i> Strains in Groundwater in the Coastal Zone of Cameroon (Central Africa), and Relations with some Abiotic Parameters <a href="#">[BibTeX]</a>	2011	Current Res. J. Biological Science Vol. 3 (6), pp. 622-632	article	
Ntangmo Tsafack, H., Temgoua, E. and	Physico-Chemical and Bacteriological Quality for the Vegetable Watering Water in the Dschang Town –	2012	J. Env. Protection	article	

Author	Title	Year	Journal/Proceedings	Reftype	DOI/URL
Njine, T.	Cameroon <a href="#">[BibTeX]</a>		Vol. 3, pp. p7		
Nyenje, P., Foppen, J., Uhlenbrook, S., Kulabako, R. and Muwanga, A.	Eutrophication and nutrient release in urban areas of sub-Saharan Africa — A review <a href="#">[BibTeX]</a>	2010	Science of the Total Environment Vol. 408, pp. 447-455	article	
Nzenti, J.	Neoproterozoic alkaline meta-igneous rocks from the Pan-African North Equatorial Fold Belt (Yaoundé, Cameroon): biotites and magnetite rich pyroxenites. <a href="#">[BibTeX]</a>	1998	J. African Earth Sciences Vol. 26 (N1), pp. 37-47	article	
Oakley, S.	Onsite Nitrogen Removal - PowerPoint Presentation <a href="#">[BibTeX]</a>	2005	National Decentralized Water Resources Capacity Development Project	electronic	
Obuobie, E., Keraita, B., Danso, G., Amoah, P., Cofie, O., Raschid-Sally, L. and Drechsel, P.	Irrigated Urban Vegetable Production in Ghana Characteristics, Benefits and Risks, IWMI-RUAF-CPWF-Accra <a href="#">[BibTeX]</a>	2006		techreport	
Ohou, M.-J.A., Mambo, V., Yapo, B.O., Seka, M.A., Tidou, A.S., Kamagate, B. and Houenou, P.V.	Temporal and Spatial Variations of Nitrate Levels in Traditional Water-Supply Wells in the Area of Buyo, Cote d'Ivoire <a href="#">[BibTeX]</a>	2008	J. Applied Sciences Vol. 8 (18), pp. 3096-3107	article	
Okomo Ebanga, G.V.	Characterisation Physico-Chimique et Physico-Chimique et Aptitudes Culturelles des Sols Hydromorphes de Nkolbisson <a href="#">[BibTeX]</a>	2011	School: Ecole Normale Supérieure - Univ. de Yaoundé I	mastersthesis	
Oliete Josa, S.	Assainissement d'écosystèmes urbains en zone tropicale humide - Le cas de la ville de Yaoundé au Cameroun <a href="#">[BibTeX]</a>	2002	School: Universitat Politècnica de Catalunya	phdthesis	
Oliveira, E., Toteu, S., Araujo, M., Carvalho, M., Nascimento, R., Bueno, J., McNaughton, N. and Basilici, G.	Geologic correlation between the Neoproterozoic Sergipano belt (NE Brazil) and the Yaoundé belt (Cameroon, Africa) <a href="#">[BibTeX]</a>	2006	J. African Earth Sciences Vol. 44, pp. 470-478	article	
Olivié-Lauquet, G., Allard, T., Bertaux, J. and Muller, J.-P.	Crystal chemistry of suspended matter in a tropical hydrosystem, Nyong basin (Cameroon, Africa) <a href="#">[BibTeX]</a>	2000	Chem. Geol. Vol. 170, pp. 113-131	article	
Olivry, J.	Fleuve et rivières du Cameroun <a href="#">[BibTeX]</a>	1986	(9)	techreport	
Olobaniyi, S. and Efe, S.	Comparative assessment of rainwater and groundwater quality in an oil producing area of Nigeria: environmental and health implications <a href="#">[BibTeX]</a>	2007		electronic	
Onguene, M.	Différenciations pédologiques dans la région de Yaoundé (Cameroun): Transformation d'un sol rouge ferrallitique en sol à horizon jaune et relation avec l'évolution du modèle <a href="#">[BibTeX]</a>	1993	School: Université Paris VI	phdthesis	
Onugba, A.	Contribution à la connaissance des systèmes aquifères de la Haute Benoué (NIGERIA) – étude hydrochimique et isotopique de zones témoins du socle et du sédimentaire: vulnérabilité des forages à la pollution. <a href="#">[BibTeX]</a>	1990		article	
Onugba, A., Blavoux, B. and Dray, M.	The environmental isotopes in monthly precipitation at Kano (Nigeria) from 1961-1973 <a href="#">[BibTeX]</a>	1990	Proc. 1st Biennial National Hydrology Symposium, pp. 67-88	inproceedings	
OpenStreetMap contributors	OpenStreetMap, website <a href="#">[BibTeX]</a>	2013	www, CC-BY-SA 2.0	electronic	<a href="#">URL</a>
Ousmane, B., Fontes, J.C., Aranyosy,	Hydrologie isotopique et hydrochimie des aquifères	1983	Isotope Hydrology, pp.	article	

Author	Title	Year	Journal/Proceedings	Reftype	DOI/URL
J.F. and Joseph, A.	discontinus de la bande sahélienne et de l'Air (Niger) <a href="#">[BibTeX]</a>		367-395		
Owen, R., Mirghani, M., Diene, M., Tuinhof, A. and Taylor, P.	Groundwater Management in IWRM (Training Manual) <a href="#">[BibTeX]</a>	2010		book	
Owona, S., Mbola Ndzana, S.P., Mpesse, J.E., Mvondo Ondo, J., Schulz, B., Pfänder, J., Jegouzo, P., Affaton, P., Ratschbacher, L. and Ekdeck, G.E.	Petrogenesis of amphibolites from the Neoproterozoic Yaounde Group (Cameroon, Central Africa): Evidence of MORB and implications on their geodynamic evolution <a href="#">[Abstract]</a> <a href="#">[BibTeX]</a>		submitted to Chem. Geol.	article	
PostgreSQL Global Development Group	PostgreSQL <a href="#">[Abstract]</a> <a href="#">[BibTeX]</a>	2012		manual	<a href="#">URL</a>
Pescod, M.	Wastewater treatment and use in agriculture - FAO irrigation and drainage paper 47 <a href="#">[BibTeX]</a>	1992		techreport	
Peterson, H., Lee, B. and Jones, D.	Increasing the Longevity of Your Septic System <a href="#">[BibTeX]</a>	2005	{{HENV-2-W}}	techreport	<a href="#">URL</a>
Pooran, C.J., Kaushal, S., Aribam, B.S., Khattri, P., D'Aoust, O., Singh, M.M., Marx, M. and Guha-Sapir, D.	Recurrent floods and prevalence of diarrhea among under five children: observations from Bahraich district, Uttar Pradesh, India <a href="#">[BibTeX]</a>	2011	Global Health Action Vol. 4, pp. 6355	article	
PostGIS, GroupofContributors.SteeringCommittee.	PostGIS, website <a href="#">[Abstract]</a> <a href="#">[BibTeX]</a>	2013	www	electronic	<a href="#">URL</a>
PostgreSQL Tools, pgAdmin.	pgAdmin Open Source management and administration tools for the PostgreSQL database <a href="#">[Abstract]</a> <a href="#">[BibTeX]</a>	2013	www	electronic	<a href="#">URL</a>
Priso, R.J., Oum, G.O. and Din, N.	Utilisation des macrophytes comme descripteurs de la qualité des eaux de la rivière Kondi dans la ville de Douala (Cameroun-Afrique Centrale) <a href="#">[BibTeX]</a>	2012	J. Appl. Bioscience Vol. 53, pp. 3797-3811	article	
Quantum GIS Development Team	Quantum GIS (QGIS), website <a href="#">[BibTeX]</a>	2013	www, GNU General Public Licence (GPL)	electronic	<a href="#">URL</a>
Rahn, T.	Tropical rain recycling <a href="#">[Abstract]</a> <a href="#">[BibTeX]</a>	2007	Nature Vol. 445, pp. 495-496	article	
R Core Team	R: A Language and Environment for Statistical Computing <a href="#">[Abstract]</a> <a href="#">[BibTeX]</a>	2012		manual	<a href="#">URL</a>
Rechenburg, A.	EPESS - Microbiologie d l'eau souterraine dans un contexte épidémiologique <a href="#">[BibTeX]</a>	2013		unpublished	
République du Cameroun and AECOM Tecsuit Inc.	Étude d'impact environnemental cumulatif du projet hydroélectrique de Lom Pangar <a href="#">[BibTeX]</a>	2011		techreport	
République du Cameroun and DecrNo2001/163/PM	Décret N° 2001/163/PM du 8 mai 2001 réglémentant les périmètres de protection autour des points de captage, de traitement et de stockage des eaux potabilisables <a href="#">[BibTeX]</a>	2001	Décret, pp. 6	incollection	
République du Cameroun and DecrNo2001/165/PM	Décret N° 2001/165/PM du 8 mai 2001 précisant les modalités de protection des eaux de surface et des eaux souterraines contre la pollution <a href="#">[BibTeX]</a>	2001	Décret, pp. 20	incollection	
République du Cameroun and LoiNo1998/005	Loi N° 1998/005 du 14 Avril 1998 PORTANT REGIME DE L'EAU <a href="#">[BibTeX]</a>	1998	Loi, pp. 6	incollection	
Richert, A., Gensch, R., Jönsson, H., Stenström, T.-A. and Dagerskog, L.	Practical Guidance on the Use of Urine in Crop Production <a href="#">[BibTeX]</a>	2010		techreport	

Author	Title	Year	Journal/Proceedings	Reftype	DOI/URL
Ro, K.S., Szogi, A.A., Vanotti, M.B. and Stone, K.C.	PROCESS MODEL FOR AMMONIA VOLATILIZATION FROM ANAEROBIC SWINE LAGOONS INCORPORATING VARYING WIND SPEEDS AND GAS BUBBLING <a href="#">[BibTeX]</a>	2008	Trans. Am. Soc. Agric. and Biol. Engineers Vol. 51(1), pp. 259-270	article	
Rodhe, H., Cowling, E., Galbally, I.E., Galloway, J. and Herrera, R.	Acidification and Regional Air Pollution in the Tropics <a href="#">[BibTeX]</a>	1988	, pp. 3-39	inbook	
Rodier, J.	L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats <a href="#">[BibTeX]</a>	1996	, pp. 1383	book	
Roose, E.J. and Lelong, F.	Factors of the Chemical Composition of Seepage and Groundwaters in the Intertropical Zone (West Africa) <a href="#">[BibTeX]</a>	1981	J. Hydrology Vol. 54, pp. 1-22	article	
Rosen, M.R., Kropf, C. and Thomas, K.A.	Quantification of the Contribution of Nitrogen from Septic Tanks to Ground Water in Spanish Springs Valley, Nevada <a href="#">[BibTeX]</a>	2006	(2006–5206)	techreport	
Rosswall, T.	The Biogeochemical Nitrogen Cycle <a href="#">[BibTeX]</a>	1981	, pp. 25-49	inbook	
Rutkowski, T., Raschid-Sally, L. and Buechler, S.	Wastewater irrigation in the developing world: two case studies from the Kathmandu Valley in Nepal <a href="#">[BibTeX]</a>	2007	Agricultural Water Management Vol. 88, pp. 83-91	article	
Sauerborn, J. and Germer, J.	Safe use of water and nutrients from ecological sanitation systems in agriculture <a href="#">[BibTeX]</a>	2013		electronic	<a href="#">URL</a>
Shandini, Y., Tadjou, J.M. and Basseka, C.A.	Delineating Deep Basement Faults of South Cameroon Area <a href="#">[BibTeX]</a>	2011	World Appl. Sci. J. Vol. 14 (4), pp. 611-615	article	
Siéliéchi, J.M., Lartiges, B.S., Ndi, S.K., Kamga, R. and Kayem, G.J.	Mobilisation of Heavy Metals from Natural Pozzolan by Humic Acid: Implications for Water and Environment <a href="#">[BibTeX]</a>	2012	International J. Env. Protection Vol. 2 (8), pp. 11-15	article	
Sigha-Nkamdjou, ..., Galy-Lacaux, C., Pont, V., Richard, S., Sighomnou, D. and Lacaux, J.	Rainwater chemistry and wet deposition over the Equatorial forested ecosystem of Zoétélé (Cameroon) <a href="#">[BibTeX]</a>	2003	J. Atmospheric Chemistry, pp. 173-198	article	
SKAT	Manual for Rural Water Supply (with many detailed constructional scale drawings) <a href="#">[BibTeX]</a>	1980	(8)	techreport	
Smith, V., Tilman, G. and Nekola, J.	Eutrophication: impact of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems <a href="#">[BibTeX]</a>	1999	Environmental Pollution Vol. 100, pp. 179-196	article	
Spoelstra, J., Schiff S.L. and Hazlett, P.J.D. and Semkin, R.	The isotopic composition of nitrate produced from nitrification in a hardwood forest floor <a href="#">[Abstract]</a> <a href="#">[BibTeX]</a>	2007	GCA Vol. 71, pp. 3757-3771	article	
Stanton, K., Mickelbart, M.V., Lee, B. and Jones, D.	Landscaping Over Septic Systems with Native Plants <a href="#">[BibTeX]</a>	2008	{{HENV-15-W}}	techreport	<a href="#">URL</a>
Still, D. and Foxon, K.	Do Pit Additives Work? <a href="#">[BibTeX]</a>	2012		techreport	
Still, D. and Foxon, K.	TACKLING THE CHALLENGES OF FULL PIT LATRINES - Volume 1: Understanding sludge accumulation in VIPs and strategies for emptying full pits <a href="#">[BibTeX]</a>	2012	(1745/1/12)	techreport	
Still, D. and Foxon, K.	TACKLING THE CHALLENGES OF FULL PIT LATRINES - Volume 2: How fast do pit toilets fill up? A scientific understanding of sludge build up and accumulation in pit latrines	2012	(1745/1/12)	techreport	

Author	Title	Year	Journal/Proceedings	Reftype	DOI/URL
	<a href="#">[BibTeX]</a>				
Still, D. and Foxon, K.	TACKLING THE CHALLENGES OF FULL PIT LATRINES - Volume 3: The development of pit emptying technologies <a href="#">[BibTeX]</a>	2012	(1745/1/12)	techreport	
Still, D., Foxon, K. and O'Riordan, M.	Tackling the challenges of full pit latrines - Volumes 1 to 3 <a href="#">[BibTeX]</a>	2012	(1745/1/12)	techreport	
Strand, J. and Worldbank.	The Full Economic Cost of Groundwater Extraction <a href="#">[BibTeX]</a>	2010	Policy Research Working Paper (WPS) Vol. 5494, pp. p18	article	
Sustainable Sanitation Alliance	Sustainable Sanitation Alliance, website <a href="#">[BibTeX]</a>	2013		electronic	<a href="#">URL</a>
Suchel, J.	Les climats du Cameroun <a href="#">[BibTeX]</a>	1972	School: Univ. Saint Etienne	phdthesis	
Sutton, M.E., Howard, C.M., Erisman, J.W., Billen, G., Bleeker, A., Grennfelt, P., Van Grinsven, H. and Grizzetti, B.	The European Nitrogen Assessment - Sources, Effects and Policy Perspectives <a href="#">[BibTeX]</a>	2011		book	
Tabue Youmbi, J.G., Feumba, R., Wethe, J., Ekodeck, G. and De Marsily, G.	Evaluation of Groundwater Suitability for Domestic and Irrigational Purposes: A Case Study from Mingoa River Basin, Yaounde, Cameroon <a href="#">[BibTeX]</a>	2012	J. Water Resources and Protection Vol. 4, pp. 285-293	article	
Tabue Youmbi, J.G., Ntamack, D., Feumba, R., Ngnikam, E., Wethe, J. and Tanawa, E.	Vulnérabilité des eaux souterraines et périmètres de protection dans le bassin versant de la Mingoa (Yaoundé, Cameroun) <a href="#">[BibTeX]</a>	2009	Revue de l'Université de Moncton Vol. 40 (2), pp. 71-96	article	
Taga, I., Soh Oumbe, V.A., Johns, R., Zaidi, M.A., Ngogang Yonkeu, J. and Altosaar, I.	Youth of West Cameroon are at high risk of developing IDD due to low dietary iodine and high dietary thiocyanate. <a href="#">[BibTeX]</a>	2008	African Health Sciences Vol. 8 (4), pp. 227-233	article	
Tamatcho Kweyang, B.P., Fotsing Kwetche, P.R., Njine, T., Nola, M. and Djogo, P.	Quelques facteurs déterminant la distribution des bactéries du genre Vibrio dans l'environnement aquatique de Yaoundé, Cameroun. <a href="#">[BibTeX]</a>	2009	Cameroon J. of Experimental Biology Vol. 5 (2), pp. 96-103	article	
Tanawa, E., Djeuda Tchapgna, H., Ngnikam, E., Tchakountio, H., Wouatsa, G., Botta, H., Deleuil, J., Berdier, C. and Souham, A.	Gestion et valorisation des eaux usées dans les zones à habitat planifié et leurs périphéries (GÈVEU) <a href="#">[BibTeX]</a>	2003		techreport	
Tanawa, E., Djeuda Tchapgna, H.B., Ngnikam, E. and Team	La problématique de l'alimentation en eau dans les zones périurbaines et les petits centres au Cameroun <a href="#">[BibTeX]</a>	1998		techreport	
Tandia, A.	Revue critique des méthodes d'évaluation de la recharge des nappes. Contribution de l'approche géochimique et isotopique. Louga-Nord Sénégal. <a href="#">[BibTeX]</a>	1990	School: Univ. Dakar	phdthesis	
Tanner, C.C. and Gold, A.J.	Review and Recommendations for Reduction of Nitrogen Export to the Coral Coast of Fiji <a href="#">[BibTeX]</a>	2004	(HAM2004-085)	techreport	
Tarre, S. and Green, M.	High-Rate Nitrification at Low pH in Suspended- and Attached-Biomass Reactors <a href="#">[BibTeX]</a>	2004	Applied and Vol. 70 (11), pp. 6481-6487	article	
Tchindjang, M., Atangana, P., Bopda, A., Messi Eloundou, B., Ndjawa Douat, C., Ngouleu Bofang, J.K. and Fodouop, K.	Administrative and spatial evolution of Yaoundé from 1898 to 1992 <a href="#">[BibTeX]</a>	2009		article	
Tchotsoua, M.	Les risques morpho-hydrologiques en milieu urbain tropical: cas de Yaoundé au Cameroun <a href="#">[BibTeX]</a>	2007	Actes des JSIRAUF	inproceedings	

Author	Title	Year	Journal/Proceedings	Reftype	DOI/URL
Teikeu, W.A., Ndougsa-Mbarga, T., Njandjock, P.N. and Tabod, T.C.	Geoelectric Investigation for Groundwater Exploration in Yaoundé Area, Cameroon <a href="#">[BibTeX]</a>	2012	Int. J. Geosciences Vol. 3, pp. 640-649	article	
Temgoua	Drinking Water Quality: Stakes of Control and Sanitation in the Town of Dschang – Cameroon <a href="#">[BibTeX]</a>	2009	Int. J. Biol. and Chemical Sciences Vol. 3 (3), pp. 441-447	article	
Temgoua, E.	Chemical and Bacteriological Analysis of Drinking Water from Alternative Sources in the Dschang Municipality, Cameroon <a href="#">[BibTeX]</a>	2011	J. Env. Protection Vol. 2, pp. 620-628	article	
Thompson, T., Fawell, J., Kunikane, S., Jackson, D., Appleyard, S., Callan, P., Bartram, J. and Kingston, P.	Chemical safety of drinking-water: Assessment priorities for risk management <a href="#">[BibTeX]</a>	2007	, pp. 160	book	
Toro, S.	Post-Construction Effects of the Cameroonien Lagdo Dam on the River Benue <a href="#">[BibTeX]</a>	1997	J. CIWEM Vol. 11, pp. 109-113	article	
Toteu, S.F., Penaye, J., Deloule, E., Van Schmus, W.R. and Tchameni, R.	Diachronous evolution of volcano-sedimentary basins north of the Congo craton: Insights from U–Pb ion microprobe dating of zircons from the Poli, Lom and Yaounde' Groups (Cameroon) <a href="#">[BibTeX]</a>	2006	J. African Earth Sciences Vol. 44, pp. 428-442	article	
Toteu, S.F., Penaye, J. and Djomani, Y.P.	Geodynamic evolution of the Pan-African belt in central Africa with special reference to Cameroon <a href="#">[Abstract]</a> <a href="#">[BibTeX]</a>	2004	Canadian J. Earth Sciences Vol. 41 (1), pp. 73-85	article	
Tredoux, G., Engelbrecht, P. and Sumaya, I.	Nitrate in Groundwater - Why is it a hazard and how to control it? <a href="#">[Abstract]</a> <a href="#">[BibTeX]</a>	2009		techreport	
Tsafack, J.-P.F., Wandji, P., Bardintzeff, J.-M., Bellon, H. and Guillou, H.	The Mount Cameroon stratovolcano (Cameroon Volcanic Line, Central Africa): Petrology, geochemistry, isotope and age d <a href="#">[BibTeX]</a>	2009	Vol. 47GEOCHEMISTRY, MINERALOGY AND PETROLOGY, pp. 65-78	inproceedings	
Tsegai, D., McBain, F. and Tischbein, B.	Water, Sanitation and Hygiene: The Missing Link with Agriculture <a href="#">[BibTeX]</a>	2013	ZEF Working Paper Series (Bonn)(107), pp. 26	article	
Tuinhof, A., Dumars, C., Foster, S., Kemper, K., Garduno, H. and Nanni, M.	Groundwater Resource Management - an introduction to its scope and practice <a href="#">[BibTeX]</a>	2002	(1), pp. 6	book	
Tuinhof, A., Foster, S., Kemper, K., Garduno, H. and Nanni, M.	Groundwater Monitoring Requirements - for managing aquifer response and quality threats <a href="#">[BibTeX]</a>	2006	(9), pp. 10	book	
Tuinhof, A., Foster, S., van Steenberg, F., Talbi, A. and Wishart, M.	Appropriate Groundwater Management Policy for Sub-Saharan Africa - in face of demographic pressure and climatic variability <a href="#">[BibTeX]</a>	2011	(5)	book	
Tuinhof, A. and Kemper, K.	Mitigation of Arsenic Contamination in Drinking Water-Supplies of Bangladesh — the Case of Chapai Nawabganj <a href="#">[BibTeX]</a>	2010	(17)	book	
Turin, A.	La pollution des eaux souterraines en Lorraine, cas des nitrates <a href="#">[BibTeX]</a>	1991	School: Univ. Nancy	phdthesis	
UNEP	Africa Water Atlas <a href="#">[BibTeX]</a>	2010	, pp. 326	book	<a href="#">URL</a>
UNEP, The Woods Hole Research Center and Braun, E.	Reactive Nitrogen in the Environment - Too Much or Too Little of a Good Thing <a href="#">[BibTeX]</a>	2007	, pp. 56	book	

Author	Title	Year	Journal/Proceedings	Reftype	DOI/URL
UNESCO & SCOPE	Human Alteration of the Nitrogen Cycle: Threats, Benefits and Opportunities <a href="#">[BibTeX]</a>	2007	(4)	techreport	
UNESCO & SCOPE	Indicators of sustainability Reliable tools for Decision Making <a href="#">[BibTeX]</a>	2006	(1)	techreport	
UNESCO & SCOPE & UNEP	Global Environmental Change and Food Security <a href="#">[BibTeX]</a>	2010	(12)	techreport	
UNESCO & SCOPE & UNEP	Biodiversity, health and well-being - Critical links <a href="#">[BibTeX]</a>	2010	(11)	techreport	
UNESCO & SCOPE & UNEP	The Human Perturbation of the Carbon Cycle <a href="#">[BibTeX]</a>	2009	(10)	techreport	
UNESCO & SCOPE & UNEP	Towards sustainable agriculture <a href="#">[BibTeX]</a>	2009	(8)	techreport	
UNESCO & SCOPE & UNEP	Biofuels and environmental impacts - Scientific analysis and implications for sustainability <a href="#">[BibTeX]</a>	2009	(9)	techreport	
UNESCO & SCOPE & UNEP	Coastal Basins on the edge <a href="#">[BibTeX]</a>	2008	(7)	techreport	
UNESCO & SCOPE & UNEP	Livestock in a changing Landscape <a href="#">[BibTeX]</a>	2008	(6)	techreport	
UNESCO & SCOPE & UNEP	Hidden Assets: Biodiversity Below-surface <a href="#">[BibTeX]</a>	2007	(6)	techreport	
UNESCO & SCOPE & UNEP	The Case of Global Environmental Change - How to improve the dialogue between science and society <a href="#">[BibTeX]</a>	2006	(3)	techreport	
UN-Habitat	Rainwater Harvesting and Utilisation <a href="#">[BibTeX]</a>	2004X	Vol. Book 2: Beneficiaries and Capacity Builders(Book 2), pp. p77	book	<a href="#">URL</a>
UN-Habitat	Municipalité de Dschang: une ville au passé glorieux face aux nouveaux <a href="#">[BibTeX]</a>	2005		techreport	
UNICEF WHO	WHO / UNICEF Progrès en matière d'alimentation en eau et d'assainissement <a href="#">[BibTeX]</a>	2012	www,	techreport	<a href="#">URL</a>
United States Census Bureau	Census and Survey Processing System (CSPro) <a href="#">[BibTeX]</a>	2013	www	electronic	<a href="#">URL</a>
USEPA	Nitrates and Nitrites - TEACH Chemical Summary <a href="#">[BibTeX]</a>	2007		techreport	
USEPA	Chlorine Disinfection <a href="#">[BibTeX]</a>	1999	(EPA 832-F-99-062)	techreport	
USEPA	Ozone Disinfection <a href="#">[BibTeX]</a>	1999	(EPA 832-F-99-063)	techreport	
van der Hoek, W., Anh, V., Cam, P., Vicheth, C. and Dalsgaard, A.	Skin diseases among people using urban wastewater in Phnom Penh <a href="#">[BibTeX]</a>	2005	Urban Agriculture Magazine Vol. 14, pp. 30-31	article	
van Grinsven, H.J., Ward, M.H., Benjamin, N. and de Kok, T.M.	Does the evidence about health risks associated with nitrate ingestion warrant an increase of the nitrate standard for drinking water? <a href="#">[BibTeX]</a>	2006	Environmental Health: A Global Access Science Source Vol. 5(26), pp. p6	article	
Van Wyk, E., Van Tonder, G. and Vermeulen, D.	Characteristics of local groundwater recharge cycles in South African semi-arid hard rock terrains – rainwater	2011	Water SA Vol. 37 (2), pp. 147-	article	<a href="#">URL</a>

Author	Title	Year	Journal/Proceedings	Reftype	DOI/URL
	input <a href="#">[Abstract]</a> <a href="#">[BibTeX]</a>		154		
Versteeg, N. and Talboom, J.	Water conservation: Urban Utilities <a href="#">[BibTeX]</a>		Vol. {Technical Note F.1}, pp. 29	book	
Vicat, J.-P., Mvondo, H., Willems, L. and Pouclet, A.	Phénomènes karstiques fossiles et actuels au sein des formations métamorphiques silico-alumineuses de la nappe pan-africaine de Yaoundé (Sud-Cameroun) <a href="#">[BibTeX]</a>	2002	C.R. Geoscience Vol. 334, pp. 545-550	article	
Viers, J., Dupre, B., Braun, J.-J., Deberdt, S., Angeletti, B., Ndam Ngoupayou, J. and Michard, A.	Major and trace element abundances, and strontium isotopes in the Nyong basin rivers (Cameroon): constraints on chemical weathering processes and elements transport mechanisms in humid tropical environments <a href="#">[BibTeX]</a>	2000	Chem. Geol. Vol. 169, pp. 211-241	article	
Viers, J., Dupre, B., Polve, M., Schott, J., Dandurand, J.-L. and Braun, J.-J.	Chemical weathering in the drainage basin of a tropical watershed (Nsimi-Zoetele site, Cameroon): comparison between organic-poor and organic-rich waters <a href="#">[BibTeX]</a>	1997	Chem. Geol. Vol. 140, pp. 181-206	article	
Vitousek, P.M., Aber, J.D., Howarth, R.W., Likens, G.E., Matson, P.A., Schindler, D.W., Schlesinger, W.H. and Tilman, D.G.	Human Alteration of the Global Nitrogen Cycle: Sources and Consequences <a href="#">[BibTeX]</a>	1997	Ecological Application Vol. 7 (3), pp. 737-750	article	
Vohland, K. and Barry, B.	A review of in situ rainwater harvesting (RWH) practices modifying landscape functions in African drylands <a href="#">[Abstract]</a> <a href="#">[BibTeX]</a>	2009	Agriculture, Ecosystems and Environment Vol. 131, pp. 119-127	article	
van der Waarde, J.	Integrated River Basin management of the Sanaga River, Cameroon - Benefits and challenges of decentralized water management <a href="#">[BibTeX]</a>	2007	This paper was written as final assignment for the course 'Integrated River Basin Management' at the UNESCO Institute of Hydraulic Engineering, Delft, The Netherlands	standard	
Water and Sanitation Program - Africa Region	Water Supply and Sanitation in Cameroon - Turning Finance into Services for 2015 and Beyond <a href="#">[BibTeX]</a>			book	<a href="#">URL</a>
Wethé, J., Radoux, M. and Tanawa, E.	Assainissement des eaux usées et risques socio sanitaires et environnementaux en zone d'habitats planifiés de Yaoundé (Cameroon) <a href="#">[BibTeX]</a>	2003	Vertigo, Revue des sciences de l'environnement Vol. 4 (1), pp. 1-12	article	
WHO	Water Sanitation Health - Water-related diseases - Methaemoglobinemia <a href="#">[Abstract]</a> <a href="#">[BibTeX]</a>	2001	WWW	electronic	<a href="#">URL</a>
WHO UNICEF	WHO / UNICEF Joint Monitoring Programme (JMP) for Water Supply and Sanitation, website <a href="#">[BibTeX]</a>	2013	www,	electronic	<a href="#">URL</a>
WHO UNICEF	Progress on Sanitation and Drinking Water: 2010 Update <a href="#">[BibTeX]</a>	2010	www,	electronic	<a href="#">URL</a>
Willems, L., Compère, P., Hetert, F., Pouclet, A., Vicat, J., Ek, C. and Boulvain, F.	Karst in granitic rocks, South Cameroon: cave genesis and silica and taranakite speleothems <a href="#">[BibTeX]</a>	2002	Terra Nova Vol. 14, pp. 355-362	article	
Willems, L., Vicat, J.-P. and Pouclet, A.	Karst dans les Micaschistes D'Akok Bekoé (Sud-Cameroun) <a href="#">[BibTeX]</a>	1999	Bulletin de la Société géographique de Liège Vol. 37, pp. 1999	article	
Worden, J., Noone, D., Bowman, K., Tropospheric Emission Spectrometer	Importance of rain evaporation and continental	2007	Nature	article	

Author	Title	Year	Journal/Proceedings	Reftype	DOI/URL
science team and data contributors	convection in the tropical water cycle <a href="#">[BibTeX]</a>		Vol. 445, pp. 528-532		
World Health Organization	Disinfection and Disinfection By-Products <a href="#">[BibTeX]</a>	1994X		techreport	
World Health Organization	Protecting Groundwater for Health - Managing the quality of Drinking-water sources <a href="#">[BibTeX]</a>	2006		book	
World Health Organization	Cleaning and disinfecting wells in emergencies <a href="#">[BibTeX]</a>	2005	(1)	techreport	
World Health Organization	Disinfectants and Disinfection By-Products - Environmental Health Criteria <a href="#">[BibTeX]</a>	2000	(216)	techreport	<a href="#">URL</a>
World Health Organization	Annexes 1 -7 - WHO Guidelines for Drinking-water Quality <a href="#">[BibTeX]</a>	2011	, pp. 99	book	
World Health Organization	Chemical fact sheets - WHO Guidelines for Drinking-water Quality <a href="#">[BibTeX]</a>	2011	, pp. 136	book	
World Health Organization	Nitrate and nitrite in drinking-water - Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality <a href="#">[BibTeX]</a>	2011	, pp. 31	book	
World Health Organization	Guidelines for Drinking-water Quality, Vol 1., 3.ed. <a href="#">[BibTeX]</a>	2004		techreport	
World Health Organization and (SIWI), StockholmInternationalWaterInstitute.	Making Water a Part of Economic Development - The Economic Benefits of Improved Water Management and Services <a href="#">[BibTeX]</a>	2007	, pp. 48	book	
World Health Organization, Chave, P., Howard, G., Bakir, P., Appleyard, S. and Hoque, B.	Approaches to pollution source management - Protecting Groundwater for Health - Managing the quality of Drinking-water sources <a href="#">[BibTeX]</a>	2006	Vol. V(Approaches to pollution source management), pp. 144	book	
World Health Organization, Chilton, J., Schmoll, O. and Appleyard, S.	Situation analysis - Protecting Groundwater for Health - Managing the quality of Drinking-water sources <a href="#">[BibTeX]</a>	2006	Vol. III(Assessment of groundwater pollution potential), pp. 55	book	
World Health Organization, Chorus, I., Chilton, J. and Schmoll, O.	Groundwater and public health - Protecting Groundwater for Health - Managing the quality of Drinking-water sources <a href="#">[BibTeX]</a>	2006	Vol. I(Groundwater and public health), pp. 175	book	
World Health Organization, Howard, G., Jahnel, J., Frimmel, F., McChesney, D., Reed, B., Schijven, J. and Braun-Howland, E.	Protecting Groundwater for Health: Managing the Quality of Drinking-water Sources <a href="#">[BibTeX]</a>	2006	, pp. 275-308	inbook	
World Health Organization, Howard, G. and Schmoll, O.	Approaches to drinking-water source protection management - Protecting Groundwater for Health - Managing the quality of Drinking-water sources <a href="#">[BibTeX]</a>	2006	Vol. IV(Approaches to drinking-water source protection management), pp. 106	book	
World Health Organization, UNEP and FAO	WHO Guidelines for the Safe use of Wastewater, Excreta and Greywater - Vol. I Policy and Regulatory Aspects <a href="#">[BibTeX]</a>	2006	Vol. Policy and Regulatory Aspects(I), pp. 114	book	
World Health Organization, UNEP and FAO	WHO Guidelines for the Safe use of Wastewater, Excreta and Greywater - Vol. II Wastewater use in Agriculture <a href="#">[BibTeX]</a>	2006	Vol. Wastewater Use in Agriculture(II), pp. 222	book	

Author	Title	Year	Journal/Proceedings	Reftype	DOI/URL
World Health Organization, UNEP and FAO	WHO Guidelines for the Safe use of Wastewater, Excreta and Greywater - Vol. III Wastewater and Excreta Use in Aquaculture <a href="#">[BibTeX]</a>	2006	Vol. Wastewater and Excreta Use in Aquaculture(III), pp. 222	book	
World Health Organization, UNEP and FAO	WHO Guidelines for the Safe use of Wastewater, Excreta and Greywater - Vol. IV Excreta and Greywater use in Agriculture <a href="#">[BibTeX]</a>	2006	Vol. Excreta and Greywater use in Agriculture(IV), pp. 204	book	
Yemefack, M., Nounamo, L., Njomgang, R. and Bilong, P.	Influence des pratiques agricoles sur la teneur en argile et autres propriétés agronomiques d'un sol ferrallitique au sud Cameroun <a href="#">[BibTeX]</a>	2004	Tropicultura Vol. 22 (1), pp. 3-10	article	
Yongue-Fouateu, R.	Contribution à l'étude pétrographique de l'altération et de faciès de cuirassement ferrugineux des gneiss migmatitiques de la région de Yaoundé <a href="#">[BibTeX]</a>	1986	School: Univ. Yaounde I	phdthesis	
Yongue-Fouateu, R., Baboulé, B., Tengoua, E. and Bitom, D.	Erosion hydrique en milieu urbain: Le cas du site d'Oyomabang dans la Ville de Yaounde <a href="#">[BibTeX]</a>	1999X	, pp. 332-341	article	
Yonta-Ngounea, C., Nkoumboub, C., Barbeya, P., Le Bretond, N., Monteale, J.-M. and Villieras, F.	Geological context of the Boumnyebel talcschists (Cameroun): Inferences on the Pan-African Belt of Central Africa <a href="#">[Abstract]</a> <a href="#">[BibTeX]</a>	2010XX	, pp. p15	article	
Youana, J. and Fomo, M.A.	Expérience Du 3ème Recensement General De La Population Et De L'Habitat (3ème RGPH) Du Cameroun <a href="#">[BibTeX]</a>	2009		techreport	
Youana, J. and Fomo, M.A.	Recensement Général de la Population et de l'Habitat (3ème RGPH) <a href="#">[BibTeX]</a>	2005		techreport	<a href="#">URL</a>
Yurtsever, Y. and Gat, J.	Isotope Hydrology. Deuterium and Oxygen-18 in the Water Cycle. <a href="#">[BibTeX]</a>	1981	(210)	techreport	
	Technical Bulletin on the mineral fertilization of Pepper (Capsicum frutescens) in Cameroon <a href="#">[BibTeX]</a>			standard	<a href="#">URL</a>
	16. Annual Conference of Bioscience <a href="#">[BibTeX]</a>	2009	Book of Abstracts	conference	

Created by [JabRef](#) on 29/04/2014.

## 10 Acknowledgements

We thank Mr. Stéphane Audry from “Observatoire de Recherche en Environnement - Bassins Versants Expérimentaux Tropicaux” (ORE BVET, <http://bvet.omp.obs-mip.fr/>) for his permission to include information provided on the Nyong river catchment into this report. The support of Institut de Recherche pour le Développement, Institut National des Sciences de l'Univers and INSU and l'Observatoire Midi-Pyrénées to maintain the ORE BVET-site is acknowledged.

We thank Dr. Marie Madeleine Gimou et Dr. Magarete Wouafo de Centre Pasteur / Yaoundé pour la bonne cooperation et les discussions.

We thank the German Embassy, Cooperation Technique, Mrs. Annette Coly for continued interest in and support of the EPESS-project.

We thank Late Prof. Amougou Akoa, Head of Department of Plant Biology of the Faculty of Science of the University Yaounde 1 for putting the laboratory space and equipment at the disposition of EPESS.

Thanks go the MSc and PhD-students in the WWRU-Lab at University of Yaoundé I, namely: Letah, W.A., Djumyon, V., Nana, A.S., Wanda, C., Nbandah, P., Ayo, A., Elisabeth, Z. and Madjiki Adjio, G., Glatte, W., Degtjarev, A., Flohr, F., Fronius, A., Rausch, J. and Königer, P. are being thanked for inorganic, organic chemical and stable isotopic analysis.

The friendly cooperation with two contracting Cameroonian laboratories is gratefully acknowledged.

Thanks go to Büte, M. and Fabel-Schulz, U. for administrative support.

