



Colloque panafricain/Panafrican colloquium (Dakar 2012)

## Pollution de l'eau souterraine et risques sanitaires à Yaoundé au Cameroun

### *Water pollution and health risks at Yaoundé, Cameroon*

Jean Ghislain Tabué Youmbi <sup>a,\*</sup>, Roger Feumba <sup>a</sup>, Valérie Tsama Njitat <sup>b</sup>, Ghislain de Marsily <sup>c</sup>, Georges Emmanuel Ekodeck <sup>d</sup>

<sup>a</sup> Laboratoire environnement, eau et énergie, École nationale supérieure polytechnique de Yaoundé, BP 8390, Yaoundé, Cameroun

<sup>b</sup> Laboratoire de biotechnologie, université de Yaoundé-1, Yaoundé, Cameroun

<sup>c</sup> Université Pierre-et-Marie-Curie (Paris-6), Institut de France, 75005 Paris, France

<sup>d</sup> Laboratoire de géologie de l'ingénieur et d'altérologie, université de Yaoundé-1, Yaoundé, Cameroun

#### INFO ARTICLE

Historique de l'article :

Disponible sur Internet le 5 juillet 2013

Mots clés :

Pollution

Diarrhées

Parasitoses intestinales

Bassin versant de la Mingoa

Yaoundé

Cameroun

Keywords:

Water pollution

Diarrhea

Parasite infestation

Mingoa's watershed

Yaoundé

Cameroon

#### RÉSUMÉ

En étendant l'approche écosystémique à la santé humaine pour documenter les causes de la pollution de l'eau souterraine, pour trouver son origine et déduire les risques sanitaires encourus dans le bassin versant de la Mingoa, une étude a été entreprise dans 12 quartiers spontanés, portant sur des aspects environnementaux et sanitaires. Sur le plan environnemental, des interviews structurées de ménages et des observations directes ont permis de recenser les ouvrages d'assainissement, les puits et sources. Sur la base de critères prédéfinis, 21 points d'eau ont été sélectionnés pour le dosage physico-chimique et bactériologique des échantillons prélevés. Sur le plan sanitaire, 200 enfants âgés de moins cinq ans ont subi des examens de selles de type KOAP. Un total de 1224 latrines a été recensé pour une moyenne de 15 individus par latrine, soit une production de 913,3 kg/an de fèces. Plus de 91 % des ménages utilisent les latrines. La nappe superficielle, accessible par les puits et les sources, présente une forte pollution azotée, phosphatée et bactériologique qui rend l'eau impropre à la consommation. L'application de l'ACP établit que la pollution de ces eaux découle principalement des latrines à fond perdu. La prévalence des diarrhées et parasitoses intestinales est très importante (= 40 %). La présence de kystes d'*Entamoeba histolytica*, d'*Ascaris lumbricoides* et de kystes d'*Entamoeba coli* confirme cette prévalence et témoigne de conditions d'hygiène de vie et du milieu très approximatives.

© 2013 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

#### ABSTRACT

The aim of this article consists of developing an ecosystemic approach to collect information about groundwater pollution in order to determine its origin and infer the health risks in Mingoa's watershed through the study of 12 spontaneous settlements. From an environmental point of view, family interviews and direct observations allowed us to inventory springs, wells and latrines, and to collect information. So, we have selected, on the basis of predefined criteria, 21 wells and springs for physico-chemical and bacteriological laboratory analyses. Two hundred children aged less than 5 years were subjected to KOAP examination. A number of 1224 latrines were inventoried, for an

\* Auteur correspondant.

E-mail addresses: [tabueley@yahoo.fr](mailto:tabueley@yahoo.fr), [tabue.youmbi@gmail.com](mailto:tabue.youmbi@gmail.com) (J.G.T. Youmbi).

average use of 15 people per latrine, producing 913.3 kg/year of excreta. Most of 91% of people use these latrines. The superficial aquifers, connected to the wells and springs, present high values of nitrogen, phosphorous pollutant and fecal contamination indicators (coliforms and fecal streptococcus), which make water inappropriate to human consumption. PCA analysis establishes that water pollution comes mainly from traditional pit latrines. The overall prevalence of diarrhea and parasite infestation was important (= 40%). The presence of cysts of *Entamoeba histolytica*, *Ascaris limbricoides*, and *Entamoeba coli* confirms this high prevalence and testify to very approximate hygiene and environment conditions.

© 2013 Académie des sciences. Published by Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

## 1. Introduction

La croissance démographique que connaissent les villes de pays en développement et leurs conditions économiques précaires entraîne une urbanisation anarchique, difficilement contrôlable. Cette situation est à l'origine de la prolifération des QHS<sup>1</sup>, qui constituent plus de la moitié de l'espace urbain. À Yaoundé, ils représentent 35 % de la superficie urbanisée et concentrent 40 % de la population. Ces quartiers sont caractérisés par des lotissements irréguliers, une absence de voies de desserte<sup>2</sup>, etc. De plus, le taux d'accès au réseau d'eau de distribution est faible et contraint la population hors réseau à recourir aux eaux de puits et de sources captant les nappes phréatiques. La majorité des ménages ne dispose pas de dispositifs d'assainissement adéquats et rejette les déchets domestiques sur ou dans le sol.

Des études menées dans les quartiers défavorisés montrent que la qualité des eaux des nappes phréatiques est fortement détériorée [1–3]. Inhérentes au développement des activités humaines, les sources potentielles de pollution des eaux souterraines se sont multipliées au cours du siècle dernier [4]. Toutefois, du fait de leur faible profondeur, du faible coût d'investissement comparé à celui du branchement particulier à l'eau courante et de leur forte productivité générale à l'échelle d'un ménage, les aquifères superficielles sur socle cristallin constituent des sites privilégiés pour l'implantation des puits de captage et sont donc très sollicités. Actuellement, les maladies diarrhéiques inquiètent de par leur caractère endémo-épidémique et constituent, au Cameroun, la principale cause de mortalité chez les moins de cinq ans en particulier ; sa prévalence s'établit à 16 % [5].

Au regard de cette situation, le présent article se propose, suivant une approche écosystémique de la santé humaine, de documenter les causes de la pollution de l'eau souterraine pour trouver son origine et de déduire les risques sanitaires encourus.

<sup>1</sup> QHS : quartier à habitat spontané, ou quartier précaire, ou quartier défavorisé.

<sup>2</sup> Les voies de desserte sont des chemins qui sillonnent les quartiers et qui permettent à chaque habitant d'aller jusqu'au seuil de sa porte et d'accéder au réseau routier.

## 2. Matériels et méthodes

### 2.1. Présentation de la zone d'étude.

Le bassin versant amont de la Mingoa (BVaM), dont l'exutoire est fixé à l'entrée du lac municipal, est situé au centre ouest de la ville de Yaoundé (Fig. 1). Le climat équatorial, de type guinéen à quatre saisons marquées, domine la région. La pluviométrie moyenne annuelle enregistrée entre 1926 et 2006 est de 1561 mm. La température moyenne annuelle est voisine de 25 °C. Ce BVaM couvre une superficie de 120 ha. L'altitude moyenne est de 734 m. Le substratum est formé de gneiss migmatitique [6] sur lequel reposent des sols ferrallitiques rouges et jaunes et des sols hydromorphes [7]. Ces formations géologiques constituent des aquifères potentiels plus ou moins sollicités.

Dans ce BVaM se développe un habitat hétérogène et diversifié, largement dominé par l'habitat spontané [8]. Ce dernier se distingue par une occupation anarchique des sols. Les maisons se confondent à la parcelle, dont les limites sont matérialisées sur le terrain par la piste qui dessert le voisin. La taille moyenne de la parcelle varie entre 150 et 200 m<sup>2</sup>. Le taux d'occupation du sol dépasse souvent 90 % [9]. La promiscuité et l'insalubrité sont caractéristiques. En effet, les eaux usées sont généralement, soit répandues dans la cour où elles laissent une traînée noirâtre, soit déversées dans la rigole de fortune creusée à proximité.

### 2.2. Démarche méthodologique

#### 2.2.1. Collecte des données

La collecte des données a été effectuée à deux niveaux : d'abord, par un recensement général de la population des 12 quartiers spontanés ; ensuite, par une enquête de détail auprès des ménages sur 256 familles sélectionnées par sondage stratifié ; enfin, par une enquête environnementale couplée à l'observation directe. Les sujets étudiés du point de vue santé sont les enfants âgés de moins de cinq ans.

#### 2.2.2. Choix des sites de prélèvement

Pour effectuer le suivi de la qualité des eaux, on a analysé 21 puits, dont les propriétaires ont donné leur accord, et sept sources ; au total, 28 ouvrages ont été retenus et géoréférencés à l'aide du GPS Magellan type Explorer (Fig. 2).

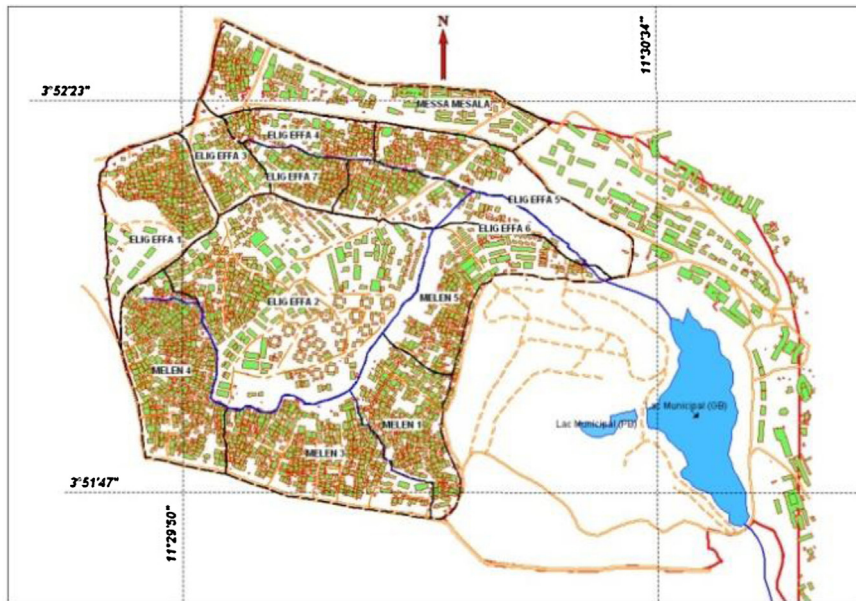


Fig. 1. Localisation du bassin versant de la Mingoa.

### 2.2.3. Analyses physico-chimiques et bactériologiques

Les formes azotées ont été estimées par mesure des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), par réduction au cadmium des nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ), par diazotation de l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ), par spectrophotométrie au réactif de Nessler. Les phosphates ont été dosés par colorimétrie à l'aide d'un spectrophotomètre Hach DR 2010 [10].

Les paramètres microbiologiques (coliformes fécaux et streptocoques fécaux) sont obtenus en unités formant

colonie (UFC) par filtration d'aliquotes homogènes de 100 mL dilués dans de l'eau stérile [11].

### 2.2.4. Examens parasitologiques

Les enfants suivis mensuellement par les infirmières dans les domiciles ont été identifiés sur une fiche. Les selles recueillies dans des pots marqués ont subi des examens macroscopique et microscopique à l'état frais après coloration au lugol et une technique de concentration [12].

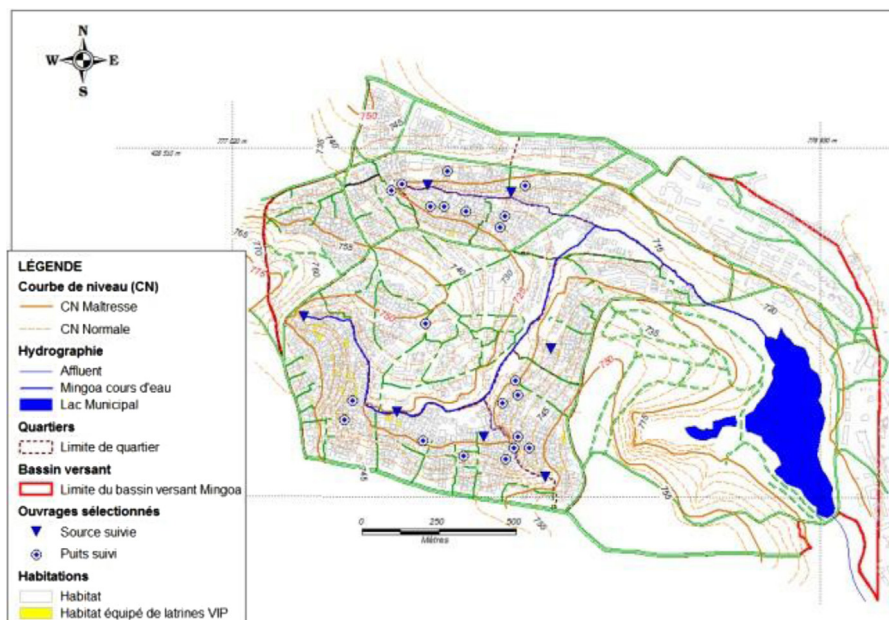


Fig. 2. Localisation des points de prélèvements du bassin versant de la Mingoa.

**Tableau 1**  
Matrice de corrélation de Pearson entre les paramètres.

	Niv fèces	Niv piézo	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	LOG CF	LOG SF
Niv fèces	1	<b>0,987</b>	0,171	-0,169	0,045	<b>-0,444</b>	<b>0,531</b>	<b>0,565</b>
Niv piézo	<b>0,987</b>	1	0,143	-0,194	0,074	<b>-0,456</b>	<b>0,513</b>	<b>0,544</b>
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,171	0,143	1	-0,126	-0,149	<b>-0,441</b>	-0,137	0,079
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,169	-0,194	-0,126	1	0,133	0,235	0,242	0,067
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,045	0,074	-0,149	0,133	1	0,228	0,113	0,045
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	<b>-0,444</b>	<b>-0,456</b>	<b>-0,441</b>	0,235	0,228	1	0,120	-0,022
LOG CF	<b>0,531</b>	<b>0,513</b>	-0,137	0,242	0,113	0,120	1	<b>0,606</b>
LOG SF	<b>0,565</b>	<b>0,544</b>	0,079	0,067	0,045	-0,022	<b>0,606</b>	1

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil  $\alpha = 0,050$  (test bilatéral) ; Niv fèces : niveau des fèces dans la latrine ; Niv piézo : niveau piézométrique du puits ; LOG CF : logarithme de coliformes fécaux ; LOG SF : logarithme de streptocoques fécaux.

### 2.2.5. Analyse statistique

Les données ont été traitées à l'aide du logiciel Excel. De plus, l'analyse en composantes principales (ACP) a été effectuée à l'aide du logiciel XLSTAT version 7.5.2.

## 3. Résultats

### 3.1. Données démographiques

Le nombre de ménages recensés dans les 12 quartiers spontanés est 3623. Cette portion du bassin versant compte environ 1273 logements, soit une moyenne de trois ménages par maison. La taille moyenne des ménages est de cinq, tandis que la population totale est estimée à 21 500 habitants. La taille moyenne des ménages dans la Mingoa est la même que celle déterminée dans la ville de Yaoundé (à savoir cinq) [5]. Mais la promiscuité dans les maisons des quartiers à habitat spontané est due aussi au nombre de ménages habitant la maison, toujours supérieur à un, contrairement au cas des autres tissus urbains. Ces quartiers spontanés sont caractérisés par la saturation de l'espace ( $COS^3 > 90\%$ ), d'une part, et par l'implantation des habitats en matériaux précaires, d'autre part [9].

### 3.2. Assainissement des excréta

Dans ces 12 quartiers, le nombre de latrines recensées est de 1224, soit une moyenne d'une latrine pour 15 personnes. En s'appuyant sur les estimations de [13], il ressort que la plupart des latrines de la Mingoa reçoivent 913,3 kg/an de fèces. Près de 91 % de ménages utilisent des latrines traditionnelles ou améliorées. Le diamètre du puisard qui reçoit les excréta varie de 90 à 120 cm. Sa profondeur est variable, soit moins de 2 m en zone marécageuse, et près de 19 m vers les crêtes. Plus de 95 % de ces latrines sont en contact direct avec la nappe souterraine, c'est-à-dire la fosse à fond perdu. La surface moyenne au sol de ces latrines est de 2,6 m<sup>2</sup>. Plus de 85 % de ces latrines sont aussi utilisées comme salles de toilette ; dans plus de 96 % des cas, les eaux vont directement dans la fosse des excréta. L'âge moyen de ces latrines est de 9,5 ans. Les coûts de réalisation sont relativement peu élevés : en moyenne, 70 000 FCFA (106,71€) [14].

### 3.3. Paramètres physico-chimiques

Les valeurs de conductivité électrique des eaux des puits du bassin versant de la Mingoa oscillent entre 132,2 et 1424,0  $\mu S/cm$  et celles des sources entre 114,3 et 433,0  $\mu S/cm$ . Les valeurs moyennes s'élèvent respectivement à 337,5 et 248,4  $\mu S/cm$ . Le pH moyen des eaux des puits est 5,8 et celui des eaux de sources est 5,5. Les nitrates varient respectivement dans les puits et les sources entre 5,6 et 64,2 mg/L et entre 3,6 et 27,4 mg/L. Les nitrites sont présents dans les eaux et leurs teneurs moyennes sont de 0,33 mg/L dans les puits et de 0,22 mg/L dans les sources. Les teneurs en phosphates sont assez variables dans les puits et les sources, et atteignent respectivement 14,8 et 18,7 mg/L. Les eaux de la nappe phréatique du bassin versant de la Mingoa sont généralement riches en azote ammoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) (jusqu'à 110,4 mg/L pour un minimum de 5,1 mg/L).

Les puits de cette zone ont une profondeur qui varie entre 0,4 et 8,0 m (moyenne : 4 m). L'amplitude de fluctuation de la nappe dans cette zone est 0,9 m.

### 3.4. Paramètres de contamination fécale

Tous les puits et les sources sont contaminés par les agents d'origine fécale et les valeurs atteignent 280 000 UFC/100 mL pour les coliformes fécaux (CF) et 16 050 UFC/100 mL pour les streptocoques fécaux (SF). Le rapport CF/SF est supérieur à 0,7, dénotant une contamination d'origine humaine.

### 3.5. Analyse en composantes principales

Le test de sphéricité de Bartlett montre qu'il existe une corrélation significative entre les paramètres de pollution, avec une valeur de  $p$  unilatérale de 0,0001 très petite par rapport au seuil de signification (0,05).

La matrice de corrélation (Tableau 1) entre les paramètres montre :

- l'existence d'une très forte corrélation entre le niveau des fèces dans les latrines et le niveau piézométrique moyen des puits ( $r = 0,987$ ) ;
- l'existence d'une corrélation entre les CF et les SF ( $r = 0,606$ ), entre les bactéries et le niveau piézométrique ou le niveau de fèces ( $r = 0,54$ ), entre les phosphates et le niveau piézométrique ou le niveau des fèces ( $r = -0,45$ )

<sup>3</sup> COS : coefficient d'occupation du sol.

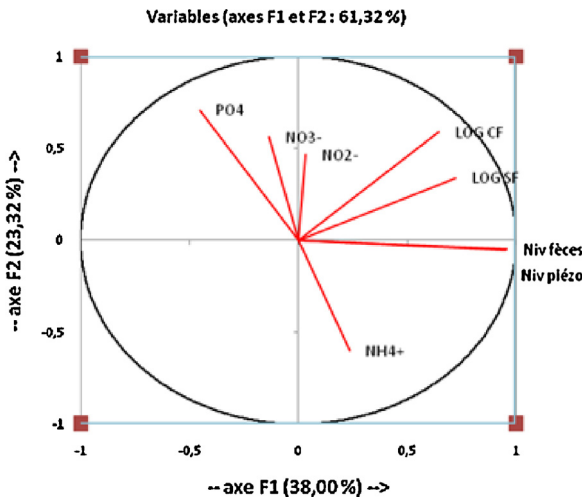


Fig. 3. Cercle de corrélations des paramètres dans le plan factoriel.

et entre les phosphates et l'azote ammoniacal ( $r = -0,441$ );

- la non-existence d'une corrélation entre les nitrates et les nitrites et entre ces deux paramètres et les autres.

Le cercle de corrélation des variables (Fig. 3) indique que toutes les variables sont bien représentées dans le plan factoriel, à l'exception des variables nitrates et nitrites.

En projetant les individus dans le plan factoriel, on dégage quatre groupes distincts (Fig. 4) :

- le groupe 1 est caractérisé par la profondeur de l'eau et le log de SF et CF, supérieurs à leur moyenne respective. Il est représenté par les puits dont la profondeur de l'eau est supérieure à 4,2 m, le log de CF et SF étant supérieur, respectivement, à 4 et 3, et les teneurs en phosphates étant inférieures à 4,6 mg/L;
- le groupe 2 regroupe les puits dont les teneurs en phosphates et en nitrates sont élevées par rapport à leurs

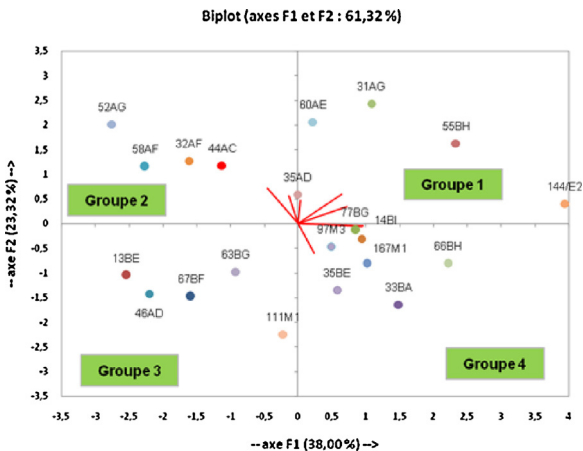
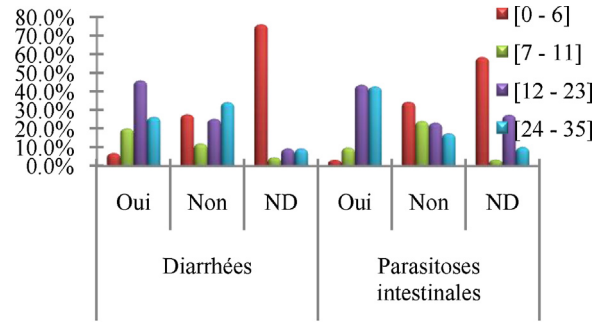


Fig. 4. Analyse en composantes principales des valeurs des paramètres.



ND : Non déterminé

Fig. 5. Prévalence des diarrhées et parasitoses intestinales par tranche d'âge. ND : Non déterminé.

moyennes respectives (4,6 et 15,8 mg/L) et les teneurs en azote ammoniacal sont inférieures à 29,7 mg/L ;

- le groupe 3 se distingue par des teneurs en phosphates inférieures à la moyenne, soit 4,6 mg/L ;
- le groupe 4 se caractérise par les puits dont les teneurs en  $NH_4^+$  sont supérieures à la moyenne (29,7 mg/L) et les teneurs en  $PO_4^{3-}$  inférieures à 4,6 mg/L.

### 3.6. Situation sanitaire

L'étude a concerné 256 enfants âgés de 0 à 36 mois. L'étude de la prévalence en diarrhées et parasitoses intestinales chez ces enfants (Fig. 5) a permis de constater que :

- la prévalence des diarrhées chez les enfants est de 44,1 % et celle des parasitoses intestinales est 46,5 % ;
- les enfants dans la tranche d'âge comprise entre 12 et 23 mois sont les plus vulnérables, avec 46,0 % de cas de diarrhées et 43,7 % de cas de parasitoses intestinales ;
- les enfants âgés entre 7 et 11 mois souffrent davantage de diarrhées (20,4%), alors que ceux âgés de 24 à 36 mois présentent plus de cas de parasitoses intestinales (42,9%).

De ce qui précède, il en découle que les diarrhées sont dues à l'hygiène de vie de la maman, alors que les parasitoses intestinales sont liées à l'état de salubrité du secteur que côtoie l'enfant. Il faut donc souligner que plus de 94 % des enfants étudiés utilisent les eaux minérales et les eaux du robinet distribuées par la CDE<sup>4</sup>. Sur les 200 enfants qui ont subi des examens de selles, 91 (45,5 %) parasites intestinaux ont été identifiés. La prévalence de levures bourgeonnantes et non bourgeonnantes est la plus forte (73,6 %) ; elle est suivie de celle de *Giardia intestinalis* (12,1 %), de kystes d'*Entamoeba histolytica* et d'*Ascaris lumbricoides* (5,5 %), ainsi que d'*Entamoeba coli* (3,3 %).

<sup>4</sup> CDE : société privée de distribution d'eau potable « Camerounaise des eaux ».

#### 4. Discussion

Près de 70 % de la population de la Mingoa a recours aux sources pour s'approvisionner en eau [15]. La protection de la qualité de ces eaux est donc un objectif prioritaire.

Les résultats obtenus confirment la pollution générale des nappes superficielles sur altérite dans la Mingoa, quelle que soit la profondeur de la nappe dans les puits. Les valeurs de conductivité électrique des eaux des nappes superficielles sur altérite en zone cristalline sont inférieures à 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et résultent principalement de la solubilisation des minéraux des roches [16,17]. Dans le bassin versant de la Mingoa, elles dépassent 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et indiquent qu'il existe des apports nouveaux en ions tels que  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NH}_4^+$ , etc., liés aux activités anthropiques, confirmant ainsi un état de pollution des eaux souterraines. En revanche, le pH des eaux est acide et semblable au pH des sols ferrallitiques en zone tropicale. Les teneurs élevées en nitrites, nitrates, phosphore, azote ammoniacal dans les eaux souterraines témoignent de la pollution anthropique provenant des rejets domestiques (détergents, produits de lessive et de beauté), des déjections animales et humaines et de la minéralisation de la matière organique ; cela d'autant plus qu'à proximité des puits et sources (distance moyenne = 8 m) se trouve une latrine qui sert aussi de salle de bains. De plus, la présence, en nombre important, de coliformes fécaux et de streptocoques fécaux atteste la contamination des eaux par les matières fécales stockées dans les latrines.

Le test de sphéricité de Bartlett montre que les différents paramètres analysés ont pour principale origine les latrines traditionnelles à fond perdu. L'analyse du cercle de corrélations confirme la contamination horizontale de la nappe d'eau souterraine par les latrines via un contact direct entre le niveau piézométrique et le niveau des fèces, l'évolution du cycle de l'azote par la transformation du  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{NO}_2^-$  et en  $\text{NO}_3^-$ , l'origine du  $\text{NH}_4^+$  par les déjections humaines et l'origine des phosphates par les rejets domestiques.

L'analyse en composantes principales montre que les eaux des puits et sources sont contaminées par quatre catégories de latrines :

- i) le **groupe 1**, désignant les latrines neuves à fond perdu, dans lesquelles les eaux de toilettes ne vont pas forcément dans la fosse ;
- ii) le **groupe 2**, caractéristique des latrines vieilles à fond perdu, où les eaux de toilettes et de lessive vont directement dans la fosse ;
- iii) le **groupe 3**, que constituent les latrines anciennement ou récemment mises hors service en fonction de teneurs faibles ou fortes en  $\text{NH}_4^+$  et très peu utilisées pour l'évacuation des eaux usées à domicile ;
- iv) le **groupe 4**, qui rassemble les latrines en service, d'où très peu d'eau s'en va dans la fosse.

La prévalence des diarrhées et des parasitoses intestinales est très importante chez les enfants de moins de cinq ans et en observant l'état de pollution des eaux souterraines, elles seraient a priori une cause de transmission de

ces pathologies dans la zone d'étude. La présence de kystes d'*Entamoeba histolytica*, d'*Ascaris lumbricoides* et d'*Entamoeba coli* confirme la prévalence des diarrhées et des parasitoses intestinales, et témoigne d'une hygiène de vie et du milieu très approximatives.

#### 5. Conclusion

Plusieurs travaux antérieurs ont démontré la pollution des eaux des nappes superficielles sur socle cristallin de la ville de Yaoundé, avec pour conséquence des risques sanitaires inquiétants. L'étude de la pollution des eaux souterraines de la Mingoa confirme davantage l'influence de l'urbanisation anarchique sur la qualité des eaux. Cette étude permet de montrer que la pollution des eaux souterraines se fait dans les quartiers spontanés, à travers une contamination horizontale par les fèces stockées dans les latrines à fond perdu. La charge journalière en fèces des latrines qui sont en contact permanent avec la nappe phréatique, ajoutée à la faible distance séparant les latrines et les puits ou les sources, entretient régulièrement l'état de pollution avancée de cette ressource très sollicitée. Les latrines anciennes ou neuves, en service ou non, constituent toutes des sources de pollution diffuse très importantes. Les apports liés aux activités anthropiques participent à l'augmentation de la conductivité électrique de l'eau.

Des actions conjuguées d'aménagement de l'espace (réalisation des infrastructures de desserte–pistes bétonnées, caniveaux bétonnés, aménagement des sources, pré-collecte des ordures ménagères, construction de latrines VIP, branchement collectif et réalisation de bornes fontaines) et de sensibilisation permanente pourraient contribuer à la protection de la ressource en eau souterraine, d'une part, et à la réduction des risques sanitaires dans ces zones spontanées, d'autre part.

#### Déclaration d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêts en relation avec cet article.

#### Remerciements

Ce travail a été financé par le CRDI. Nous rendons un vibrant hommage au Dr Henri Bosko Djeuda Tchapgna, décédé pendant la réalisation de ce projet.

#### Références

- [1] N. Bemmo, T. Njiné, M. Nola, D. Ngamba, Impacts 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 de 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. Rapport de recherche. Yaoundé, Université de Yaoundé-1, ENSP, 1998, 160 p.
- [2] Y. Dieng, A. Tandia, T. Wane, O. Gaye, S. Diop, S. Diallo, Les parasitoses intestinales chez des habitants d'une zone péri-urbaine à nappe phréatique polluée par les nitrates d'origine fécale (Yeumbeul Sénégal), Cahiers Santé 9 (1999) 351–356.
- [3] J.P. Chippaux, S. Houssier, P. Gross, C. Bouvier, F. Brissaud, Étude de la pollution de l'eau souterraine de la ville de Niamey, Niger. Bull. Soc. Pathol. Exot. 94 (2) (2002) 119–123.

- [4] D. Danielopol, C. Griebler, A. Gunatilaka, J. Notenboom, Present state and future prospect for groundwater ecosystems, *Environ. Conserv.* 30 (2) (2003) 104–130.
- [5] Institut National de la Statistique (INS), *Annuaire statistique du Cameroun. Rapport d'études statistiques, 2004*, 620 p.
- [6] J.-P. Nzenti, P. Barbey, J. Macaudière, D. Soba, Origin et evolution of the Late Precambrian high-grade Yaounde gneiss (Cameroun), *Precambrian Res.* 38 (1988) 91–109.
- [7] M. Onguéné, Différenciation pédologique de la région de Yaoundé (Cameroun). Transformation d'un sol rouge ferrallitique en un horizon jaune en relation avec l'évolution du modelé. *Faculté des Sciences, spécialité Pédologie. Université Paris-6 Paris*, 1993, 254 p.
- [8] LESEAU, Inventaire des déchets solides et liquides non ménagers de la ville de Yaoundé. Rapport final. Yaoundé, Université de Yaoundé 1, ENSP, 2002, 153 p.
- [9] J. Wethe, Urbanisation et protection de la ressource en eau : une approche par les systèmes d'information géographiques (SIG) appliquée à Yaoundé-Cameroun. *Environnement. Université Senghor, Alexandrie, Égypte, Mémoire DEPA*, 1999, 107 p.
- [10] J. Rodier, *L'analyse des eaux : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer*, Dunod, Paris, 1978, 709–785.
- [11] Alpha, *Standard methods for examination of water and waste water*. 17th ed., Washington DC, 1989.
- [12] P. Bourée, *Examens de laboratoire en médecine tropicale*, 289, Flammarion, Paris, 1983.
- [13] A. Peasey, Health aspect of dry sanitation with waste reuse. *Well Study in Water and Environment* n° 324, 2000 <http://www.lboro.ac.uk/well/>.
- [14] J. Wethe, M. Radoux, E. Tanawa, Assainissement des eaux usées et risques socio-sanitaires et environnementaux en zone d'habitats planifiés de Yaoundé (Cameroun), *VerdigO. La revue en sciences de l'environnement* 4 (1) (2003) 12.
- [15] LESEAU, Maîtrise de l'assainissement dans un écosystème urbain à Yaoundé au Cameroun et impacts sur la santé des enfants âgés de moins de cinq ans. *Rapport final de recherche*, 2005.
- [16] C. Grimaldi, E. Fritsch, R. Boulet, Composition chimique des eaux de nappe et évolution d'un matériau ferrallitique en présence du système muscovite-kaolinite-quartz. *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. II* 319 (1994) 1383–1389.
- [17] A. Nono, J.D.H. Likeng, H. Wabo, J.G. Tabue Youmbi, S. Biaya, Influence de la nature lithologique et des structures géologiques sur la qualité et la dynamique des eaux souterraines dans les hauts plateaux de l'Ouest-Cameroun, *J. Biol. Chem. Sci.* 3 (2) (2009) 218–239.