

## Évaluation de la contamination par *Salmonella sp.* et *Vibrio cholerae* des eaux de puits de Garoua, Nord Cameroun

Moussa DJAOUA<sup>1\*</sup>, Boubou GAKE<sup>2</sup>, Serge Hubert ZEBAZE TOGOUET<sup>3</sup>, Zoua WADOUBE<sup>4</sup>,  
Moïse NOLA<sup>3</sup> et Thomas NJINE<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Université de Maroua, Ecole Normale Supérieure, Département des Sciences de la Vie et de la Terre,  
BP 55 Maroua, Cameroun

<sup>2</sup> Centre Pasteur du Cameroun, Annexe de Garoua, BP 921 Garoua, Cameroun

<sup>3</sup> Université de Yaoundé I, Faculté des Sciences, Laboratoire d'Hydrobiologie et Environnement,  
BP 812 Yaoundé, Cameroun

<sup>4</sup> Université de Maroua, Faculté des Sciences, Département des Sciences Biologiques, BP 814 Maroua, Cameroun

\* Correspondance, courriel : [djoubey@gmail.com](mailto:djoubey@gmail.com)

### Résumé

Cette étude a pour objectif d'évaluer la contamination par *Salmonella sp.* et *Vibrio cholerae* des eaux de puits consommées dans la ville de Garoua, dans l'optique de prévenir les maladies hydriques causées par ces germes. Des échantillons d'eau ont été collectés, selon une fréquence mensuelle pendant 10 mois, de 23 puits représentatifs de la région d'étude et soumis aux analyses bactériologiques. Les résultats obtenus révèlent que ces eaux, bien que très consommées dans la zone d'étude, ne sont pas toujours de bonne qualité. Ces eaux renferment aussi bien des bactéries fécales pathogènes que celles commensales. Quelques souches de *Salmonella sp.* ont été isolées dans les puits de certains quartiers de Garoua au cours de l'étude. La contamination des eaux de puits par les salmonelles n'est pas généralisée et est plus accentuée dans les puits des quartiers Ngalbidjé et Base Aérienne. Les sérogroupes OMA et OMB ont été tous les deux représentés à Ngalbidjé. Aux quartiers Poumpoumé et Camp chinois, seul le séro groupe OMA a été présent ; tandis que les quartiers Roumdé-Adjia, Base Aérienne et Bocklé ne comportent que le séro groupe OMB. Presque toutes les souches de salmonelles testées ont été sensibles aux antibiotiques habituellement utilisés en clinique dans la zone d'étude. La seule résistance enregistrée concernait la tétracycline pour la souche OMA isolée du puits P7 situé à Poumpoumé. Aucune souche de *Vibrio cholerae* n'a cependant été isolée au cours de l'étude. Garoua étant une zone où des épidémies de choléra sont souvent déclarées, les bactéries de cette espèce pourraient être présentes dans l'environnement aquatique dans un état viable mais non cultivable ou en association avec d'autres organismes aquatiques.

**Mots-clés :** *Salmonella sp.*, *Vibrio cholerae*, puits, Garoua, Cameroun.

### Abstract

**Evaluation of the contamination of well waters of Garoua (North Cameroon) with *Salmonella sp.* and *Vibrio cholerae***

This study aimed at evaluating the contamination of well waters consumed in the Garoua metropolis with *Salmonella sp.* and *Vibrio cholerae*, in view of preventing waterborne diseases caused by these bacteria. Water samples were collected, using monthly frequency during 10 months, from 23 wells representative of

the study region, and submitted to bacteriological analyses. The obtained results revealed that these water sources are not always of good quality, though they are highly consumed in the study zone. These water sources host faecal bacterial pathogens and comensal bacteria. Some strains of *Salmonella sp.* were isolated from wells of few quarters of Garoua during the study. The contamination of well waters with *Salmonella sp.* was not wide but was higher among the wells in Ngalbidjé and Base Aérienne quarters. The OMA and OMB *Salmonella* serogroups were both present in Ngalbidjé. In Poumpoumé and Camp Chinois quarters, only the OMA serogroup was present ; while Roumdé-Adjia, Base Aérienne and Bocklé quarters hosted only the OMB serogroup. Almost all the tested *Salmonella* isolates were sensitive to antibiotics usually prescribed in hospitals of the study zone. The single resistance recorded concerned Tetracycline with the OMA *Salmonella* strain isolated from well P7 in Poumpoumé. However, no *Vibrio cholerae* was isolated during the study. Garoua being a zone where cholera epidemics are often declared, this bacterial species could be present in water environment in viable but not culturable state or in association with other aquatic organisms.

**Keywords :** *Salmonella sp.*, *Vibrio cholerae*, well, Garoua, Cameroun.

## 1. Introduction

Les maladies hydriques constituent un sérieux problème de santé publique dans les pays en développement. Ces maladies y seraient responsables de 2,2 millions de décès par an chez les enfants de moins de cinq ans [1]. La qualité de l'eau de boisson, les fortes concentrations des populations, résultant de l'urbanisation anarchique, associées à une mauvaise hygiène et l'insuffisance des structures d'assainissement, jouent un rôle important dans l'apparition et le développement de telles maladies en milieu urbain [2, 3]. Au Cameroun, il est admis que les maladies hydriques sont plus fréquentes chez les enfants que chez les adultes. De plus, seuls les cas de diarrhées sévères sont généralement reçus dans les établissements hospitaliers [4, 5]. L'étiologie bactérienne des infections n'est, le plus souvent, pas établie avant l'antibiothérapie à cause du coût élevé des examens médicaux. L'épidémiologie des maladies hydriques n'est donc pas bien connue au Cameroun. Dans les régions septentrionales du pays, les épidémies de choléra sont récurrentes au début des saisons pluvieuses et font des milliers de victimes. En 2011, plusieurs média nationaux ont largement fait écho d'une épidémie de choléra dans cette partie du pays. De telles épidémies sont généralement causées par la consommation d'une eau de mauvaise qualité bactériologique [6 - 8]. Sans traitement, une eau de boisson peut être un vecteur de plusieurs maladies. Les bactéries pathogènes d'origine fécale les plus souvent rencontrées appartiennent à la famille des *Enterobacteriaceae*.

Ce sont essentiellement des *Salmonella*, *Shigella*, *Yersinia* et *Escherichia coli* entéropathogènes. *Salmonella enterica* présente une grande importance dans les pays en développement, avec environ 22 millions de cas de fièvres causés par *Salmonella* Typhi en 2002 [9] et 5,5 millions de cas annuels de fièvres dues à *Salmonella* Paratyphi A, B ou C [10]. L'agglomération de Garoua, où vivent 350 000 personnes [11], ne possède pas de réseau collectif de collecte et de traitement des eaux usées. L'urbanisation anarchique a créé de gros problèmes d'insalubrité dans certains quartiers. De nombreuses personnes se sont installées dans des quartiers défavorisés où l'habitat est précaire. Dans de nombreux cas, l'habitat dispersé ne permet qu'un système d'assainissement individuel par fosses septiques et les eaux ménagères sont directement rejetées dans le milieu environnant (ruisselets, rigoles). Bien que la divagation des bêtes soit formellement interdite par les autorités municipales de la ville de Garoua, les caprins, les ovins et la volaille sont souvent rencontrés à l'intérieur de certaines concessions. La plupart d'entre ces concessions n'ont cependant qu'un petit nombre de bêtes. Les plus grands élevages sont en milieu rural. L'accès à l'eau potable est réservé aux seuls quartiers résidentiels et ceux existant au moment de la mise en place du réseau de distribution dans la ville de Garoua. La grande partie des ménages non desservie par l'eau potable de distribution publique recourt pour son

approvisionnement à des points d'eau traditionnels, notamment les puits. L'urbanisation, de par la forte consommation de l'eau qu'elle engendre, entraîne la production d'une quantité considérable d'eaux usées surtout domestiques. L'absence de système de collecte et de traitement des eaux usées (égouts collecteurs, stations d'épuration) et la présence massive de latrines à fond perdu constitueraient un facteur majeur de pollution des puits communautaires largement utilisés. D'après [12], les eaux de puits de Garoua hébergent des bactéries bio-indicatrices de contamination fécale à des concentrations relativement élevées. La distribution de ces micro-organismes dans les eaux souterraines de la région subit des fluctuations spatio-temporelles et est influencée par divers facteurs physico-chimiques. Les facteurs biotiques constituent des facteurs importants d'inhibition de croissance de *Salmonella sp.* et d'*E. coli* dans les eaux de puits [13]. Pour ces auteurs, la survie des bactéries pathogènes (*Salmonella sp.*, *Vibrio cholerae*) dans l'eau de puits serait liée à la disponibilité des nutriments et à la compétition avec les bactéries autochtones. Il existe cependant très peu de données sur l'isolement des bactéries pathogènes dans les eaux souterraines de Garoua. Il est donc difficile de déterminer avec précision la nature et l'ampleur des risques sanitaires que pourraient encourir les populations consommatrices des eaux provenant des points d'eau traditionnels. L'objectif de cette étude est de rechercher, isoler et identifier les salmonelles et *V. cholerae* dans les eaux de puits de Garoua, et les facteurs de contamination de ces eaux.

## 2. Matériel et méthodes

### 2-1. Description de la zone d'étude

La ville de Garoua est située entre 9,27° et 9,36° de latitude Nord et 13,35° et 13,47° de longitude Est au fond de la cuvette de la Bénoué, principal affluent navigable de la rive gauche du Niger. Elle déploie tous ses quartiers sur la rive droite de la rivière. La région de Garoua est soumise au climat de type soudano-sahélien à tendance pluviométrique nocturne [14]. Elle connaît deux saisons au cours de l'année : la saison sèche, qui s'étend de novembre à avril, et la saison des pluies, allant de mai à octobre [15]. La moyenne annuelle des pluies varie en fonction des années et est proche de 1000 mm [16]. On peut observer de grandes irrégularités d'une année à l'autre et même d'un mois à l'autre [15, 17]. Au début et à la fin de la saison pluvieuse, les pluies tombent surtout en tornades courtes, violentes et localisées [14, 17]. La répartition interannuelle des pluies mensuelles est très homogène, avec près de 65 % des pluies concentrées sur les seuls mois de juillet, août et septembre [16]. La température varie entre 16 et 40 °C, avec une moyenne annuelle de 29 °C. L'humidité relative moyenne est de 35 %, avec des valeurs journalières comprises entre 10 et 70 %. Le sol représente une toposéquence classique de la Vallée de la Bénoué, allant des sols ferrugineux tropicaux à texture sableuse, aux sols alluviaux à texture limoneuse présentant une hydromorphie temporaire [18]. On y distingue, généralement, deux groupes d'eaux souterraines. Les eaux souterraines à faible minéralisation, acides (pH compris entre 5,0 et 6,5), à teneurs élevées en Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> et K<sup>+</sup> constituent le premier groupe. Le second groupe comprend les eaux souterraines à minéralisation relativement élevée, à pH (7,4-8,2) et salinité élevée et dont les ions les plus représentés sont : Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et SiO<sub>2</sub> dissous [16].

### 2-2. Choix des puits

Notre étude ne pouvait pas être entreprise sur l'ensemble des puits de la ville. Il a donc fallu sélectionner quelques puits représentatifs de l'ensemble de la ville. Une enquête préliminaire, la littérature disponible et des discussions avec des personnes travaillant dans le domaine de l'eau dans des organismes tels la CDE (Camerounaise Des Eaux) et le Centre Pasteur du Cameroun ont permis d'orienter le choix des puits étudiés. Les critères suivants ont été utilisés pour le choix des points d'eau:

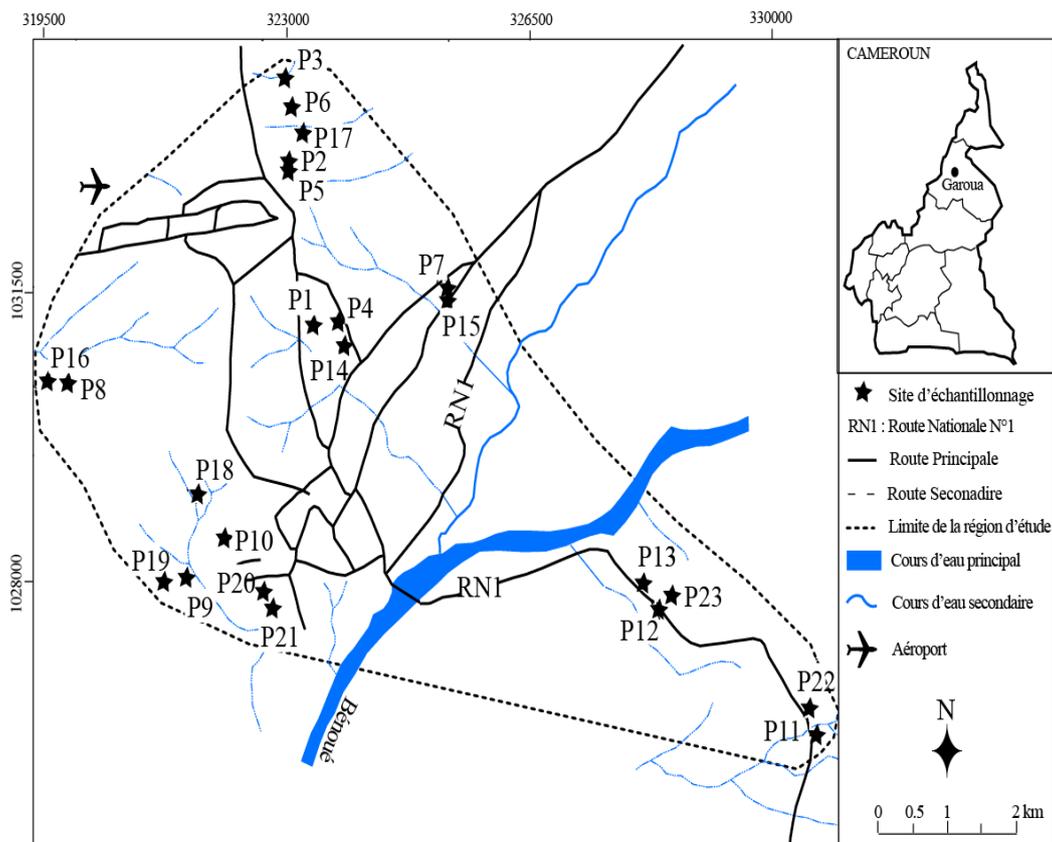
- leurs caractéristiques abiotiques (localisation et altitude obtenues à l'aide d'un récepteur GPS de marque Garmin, profondeur, caractéristiques géologiques, pédologiques) ;
- les influences anthropiques auxquelles ils sont soumis (niveau social, latrines, élevages, etc.) ;
- les aménagements qui y ont été réalisés : margelle, couvercle, périmètre de protection, etc. ;
- l'intérêt que les populations accordent à ces points d'eau, les quartiers où les puits constituent la seule source d'eau de boisson sont privilégiés.

Le choix du nombre et de l'emplacement temporel des campagnes d'échantillonnage a été effectué en fonction :

- des contraintes de temps, l'étude étant limitée à deux ans pour des raisons logistiques et financières ;
- des caractéristiques et des aléas du climat. En cas de pluies importantes, l'échantillonnage a été repoussé de 3 à 4 jours de façon à permettre la minimisation de l'impact des eaux de ruissellement ;
- de l'état de connaissances sur l'écologie des groupes bactériens étudiés. Peu d'éléments concernant ces aspects sont connus pour la région du nord Cameroun.

### 2-3. Description des points d'eau étudiés

Une campagne de reconnaissance des puits sélectionnés par les enquêteurs a permis de retenir 23 points d'eau. Les puits ont été choisis dans les quartiers Roumdé-Adjia, Base Aérienne, Ngalbidjé, SODECOTON, Djamboutou, Camp Chinois, Yelwa, Poumpoumré, Bocklé et Sanguéré. Ils ont été désignés par la lettre P sur la carte et numérotés de P1 à P23 (**Figure 1**). Les caractéristiques de ces puits sont présentées dans le **Tableau 1**.



**Figure 1** : Emplacement des points de prélèvement (P1, ... P23) sur la carte de Garoua

**Tableau 1 : Caractéristiques et environnement physique des puits dont les eaux ont été analysées**  
*N : Latitude Nord en degré ; E : Longitude Est en degré*

Puits	coordonnées GPS (altitude)	Localisation : Quartiers	Profondeur (en m)	Distance des sources potentielles de pollution (en m)	Aménagements	Usages de l'eau
P1	N9.324 E13.393 (216m)	RoundéAdja	6	Latrines à 14m	Sous un manguier, non couvert, margelle de roue de Caterpillar, pas de périmètre de protection	Tous les usages ; boisson (avec traitement sommaire irrégulier et sans traitement)
P2	N9.342 E13.389 (246m)	Base Aérienne	11	Latrines à plus de 15m	Couvert, margelle basse en béton (0,6m)	Tous les usages ; boisson (avec traitement sommaire irrégulier et sans traitement)
P3	N9.352 E13.389 (247m)	Base Aérienne	10	Latrines et élevage de volaille, champ de maïs et gombo avec utilisation de fumier à 10m	Non couvert, margelle haute, en béton	Tous les usages sans traitement
P4	N9.32437 E13.396 (221m)	RoundéAdja	8,6	Nombreuses latrines à 10m environ, déchets plastiques et poubelles à moins de 2m	Non couvert, pas de périmètre de protection, margelle en béton (0,6), présence de cuvelage	Tous les usages sans traitement
P5	N9.342 E13.390 (257m)	Base Aérienne	10,1	Latrines à plus de 15m, champ de maïs et gombo	Margelle en béton (0,8m)	Tous les usages sans traitement
P6	N9.349 E13.390 (247m)	Ngalbidjé	10	Latrines à moins de 10 m, présence des animaux en divagation	Margelle en béton (0,7m)	Tous les usages sans traitement
P7	N9.327 E13.411 (201m)	Poupoumré	6	Latrines à plus de 15m, présence des herbes, zone inondable en saison de pluies	Sous un arbre Margelle en béton (0,8m)	Tous les usages domestiques autres que la boisson
P8	N9.318 E13.360 (216m)	Djamboutou	2,3	Latrines à plus de 15m, présence de moutons	Sous un manguier Margelle en béton (0,6m)	Tous les usages domestiques autres que la boisson
P9	N9.295 E13.376 (208m)	Camp chinois	4,7	Latrines à plus de 15m, caniveau (eaux usées domestiques à 10m)	Margelle en béton (0,5m)	Tous les usages domestiques autres que la boisson
P10	N9.300 E13.381 (213m)	SODECOTON	5,6	Latrines à 11m, tas d'ordures important à 7m	Margelle en béton (0,6m)	Tous les usages domestiques et boisson, après traitement
P11	N9.278 E13.461 (235m)	Sanguéré	3,9	Latrines à 8m, champ de maïs	Margelle en béton (0,6m)	Tous les usages domestiques
P12	N9.292 E13.440 (200m)	Bocklé	6,4	Latrines à plus de 15m, champ de maïs	Margelle en béton (0,4m)	Tous les usages domestiques
P13	N9.295 E13.438 (198m)	Bocklé	4,3	Latrines à plus de 15m, zone inondable	Margelle en béton et pneu de voiture (0,5m)	Tous les usages domestiques
P14	N9.322 E13.397 (217m)	Roundé	9,1	Latrines à 7m	Sans margelle	Tous les usages domestiques autres que la boisson
P15	N9.329 E13.411 (208m)	Poupoumré	5,1	Latrines à plus de 15m ; zone inondable, égouts à 2m	Margelle en béton (0,5m)	Tous les usages domestiques et boisson, après traitement
P16	N9.318 E13.357 (205m)	Djamboutou	7	Latrines à 9m	Margelle en béton (1m)	Tous les usages domestiques autres que la boisson
P17	N9.346 E13.391 (235m)	Ngalbidjé	8,2	Latrines à plus de 15m, présence des canards et d'un âne	Margelle en béton (0,6m)	Tous les usages domestiques
P18	N9.305 E13.378 (213m)	SODECOTON	4,5	Latrines à 3m, herbes	Margelle en béton (0,4m)	Tous les usages domestiques autres que la boisson
P19	N9.295 E13.373 (206m)	Camp chinois	3,7	Latrines à 10m, objets divers à l'intérieur du puits	Margelle en fût métallique (0,3m)	Tous les usages domestiques autres que la boisson
P20	N9.294 E13.386 (206m)	Yelwa	5,3	Latrines à plus de 15m, fumier aux alentours	Margelle de pneu de voiture (0,4m)	Tous les usages domestiques autres que la boisson
P21	N9.292 E13.388 (205m)	Yelwa	5,2	Latrines à 2m, eaux usées domestiques, présence de nombreux enfants	Margelle en pneu de voiture (0,3m)	Tous les usages domestiques autres que la boisson
P22	N9.281 E13.460 (233m)	Sanguéré	6	Latrines à plus de 15m, champs de maïs	Margelle de roue de voiture (0,2m)	Tous les usages domestiques
P23	N9.293 E13.441 (204m)	Bocklé	13	Latrines à plus de 15m	Margelle en béton (1m) ; cuvelage	Tous les usages domestiques autres que la boisson

## 2-4. Collecte des échantillons d'eau de puits

Pour chaque point d'eau, deux échantillons ont été prélevés, l'un dans un flacon en verre (Pyrex) stérile de 500 mL, et l'autre dans un flacon en polyéthylène de 1000 mL. L'échantillon prélevé dans le flacon en verre stérile a servi aux analyses bactériologiques. Les prélèvements de l'eau destinée à l'analyse bactériologique ont été effectués en respectant les consignes suivantes :

- Si le puits a une profondeur inférieure à 6 mètres, le flacon est ouvert en prenant soin de tenir le bouchon dans un emballage stérile. Ce flacon est lesté sur le dispositif de prélèvement et descendu dans le puits. Il est ensuite rempli au 9 / 10<sup>e</sup> puis le dispositif et le flacon sont remontés. En évitant toute contamination, le flacon est refermé ;
- Si le puits a une profondeur supérieure à 6 mètres, un seau est nettoyé, ensuite rincé trois fois avec de l'eau du puits. Enfin, l'eau du puits est puisée pour remplir les flacons stériles. Dans les 2 cas les échantillons prélevés sont transportés en enceinte réfrigérée.

Les prélèvements de l'eau destinée à l'analyse physico-chimique ont été effectués en utilisant un seau nettoyé et rincé trois fois avec de l'eau du puits. L'eau du puits prélevée a servi à remplir les flacons en polyéthylène à ras bord et sans faire de bulles d'air. Tous les échantillons d'eau prélevés ont été maintenus à 4°C et analysés dans les deux heures qui suivaient les prélèvements. Les prélèvements ont été effectués d'octobre 2011 à avril 2012 et de juillet 2012 à octobre 2012. Pendant ces deux périodes, des prélèvements mensuels d'eau de chacun des 23 puits étudiés ont été effectués et analysés. L'assèchement de la majorité des puits aux mois de mai et de juin n'a pas permis d'effectuer des prélèvements durant cette période.

## 2-5. Analyse des échantillons d'eau

### 2-5-1. Analyse physico-chimique

L'analyse des paramètres physico-chimiques des échantillons d'eau a été réalisée suivant les techniques préconisées par [19, 20]. Les paramètres analysés sont la température, le pH, la conductivité électrique, les solides totaux dissous (TDS), la salinité, le titre alcalimétrique complet (TAC) et les teneurs en oxygène dissous et en dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) libre. Ces paramètres ont une influence potentielle sur la survie et la croissance des microorganismes en milieu aquatique. La teneur en anhydride carbonique (CO<sub>2</sub>) libre de l'eau a été mesurée par volumétrie. En effet, un léger excès de solution de soude N/40, vérifié au moyen de l'indicateur phénolphthaléine, a permis de neutraliser l'anhydride carbonique de l'échantillon d'eau juste après le prélèvement. Au laboratoire, l'échantillon d'eau ainsi traité est titré avec une solution d'acide chlorhydrique N/50. Le résultat obtenu est exprimé en mg.L<sup>-1</sup> d'eau de CO<sub>2</sub>. Le titre alcalimétrique complet (TAC) de l'eau a été déterminé, au laboratoire, selon la méthode acidimétrique au moyen d'une solution d'acide chlorhydrique N/50, le rouge de méthyle vert de bromocrésol ayant servi d'indicateur coloré. Le résultat obtenu a été exprimé en mg.L<sup>-1</sup> d'eau de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> [20]. Les autres paramètres de l'eau considérés ont été mesurés sur le terrain, juste après le prélèvement de l'eau, à l'aide d'un testeur de pH/température/conductivité/TDS/salinité et d'un oxymètre de marque Extech, préalablement calibrés, conformément aux recommandations du fabricant.

### 2-5-2. Analyses bactériologiques

Les bio-indicateurs bactériens (coliformes fécaux) ont été isolés et leurs abondances ont été déterminées dans les échantillons d'eau des différents puits. De plus, les bactéries pathogènes telles que les salmonelles et *Vibrio cholerae* ont été systématiquement recherchées, isolées et identifiées dans ces eaux. La technique de filtration sur membrane a été utilisée pour dénombrer les coliformes fécaux [20]. Pour chaque puits, les

échantillons d'eau brute/diluée ont été filtrés à travers une membrane filtrante quadrillée, stérile, de 47 mm de diamètre et de porosité 0,45 µm, en nitrate de cellulose de marque Millipore Corporation. A l'aide des pinces fines préalablement passées à la flamme, la membrane est ensuite prise très délicatement (en pinçant juste au bord) et déposée sur le milieu de culture m-Endo LES (Difco Laboratories, Detroit, MI, USA) contenu dans la boîte de Pétri. Au bout de l'incubation à 44°C pendant 24h, les colonies rouges à éclat métallique doré ou sans éclat métallique sur gélose m-Endo LES ont été dénombrées.

#### 2-5-2-1. Isolement et caractérisation de *V. cholerae*

La méthode décrite par [21] a été utilisée avec une légère modification. 200 mL d'échantillon d'eau ont été filtrés à travers une membrane filtrante quadrillée, stérile, de 47 mm de diamètre et de porosité 0,22 µm, en nitrate de cellulose de marque Millipore Corporation. A l'aide des pinces fines préalablement passées à la flamme, la membrane est ensuite prise très délicatement (en pinçant juste au bord) et introduite dans 10 ml d'eau peptonée alcaline (Liofilchem s.r.i. Bacteriology Products, Italie), pH 8,4 et incubé à 37°C pendant 24h. Une oeuse du bouillon de culture a été prélevée juste en dessous de la surface et ensemencée sur gélose Thiosulfate Citrate Bile Salt Sucrose (TCBS) (Liofilchem s.r.i. Bacteriology Products, Italie) et incubée à 37°C pendant 18-24h. Les colonies présomptives (jaunes, mesurant 2 à 4 mm) de *V. cholerae* ont été repiquées sur la gélose infusion cœur-cerveau pour obtenir des cultures pures. Les bacilles Gram-négatifs, incurvés, catalase-positif, oxydase-positif, fermentant le glucose (mais pas le lactose ou le saccharose) sans production de gaz ou de H<sub>2</sub>S ont été soumis à la caractérisation biochimique en utilisant la galerie API 20E (Bio Mérieux SA, France).

#### 2-5-2-2. Isolement et caractérisation de *Salmonella*

200 mL d'échantillon d'eau ont été filtrés à travers une membrane filtrante quadrillée, stérile, de 47 mm de diamètre et de porosité 0,45 µm, en nitrate de cellulose de marque Millipore Corporation. A l'aide des pinces fines préalablement passées à la flamme, la membrane est ensuite prise très délicatement (en pinçant juste au bord) et introduite dans 10 ml de bouillon Rappaport Vassiliadis (Liofilchem s.r.i. Bacteriology Products, Italie), et incubé à 37°C pendant 24h. Une oeuse du bouillon de culture a été prélevée après agitation et ensemencée sur gélose Hektoen (Liofilchem s.r.i. Bacteriology Products, Italie) et incubée à 37°C pendant 18-24h. Les colonies présomptives (vertes, vertes à centre noir et noires) de *Salmonella* ont été repiquées sur la gélose infusion cœur-cerveau pour obtenir des cultures pures. A partir des cultures pures obtenues, les cellules en présence ont été observées au microscope optique de marque Olympus. Ensuite, les enzymes tels que l'oxydase et la catalase ont été recherchés chez ces bactéries. A l'issue de ces tests, les bacilles Gram-négatifs, à mobilité péritriche, au microscope optique, produisant de la catalase mais pas d'oxydase ont été caractérisés en utilisant la galerie API 20E (Bio Mérieux SA, France). Les bactéries appartenant au genre *Salmonella* ont été repiquées sur gélose nutritive pour les tests de sérotypage. Le sérotypage des salmonelles a été réalisé au moyen de la technique d'agglutination directe sur lame mettant en jeu les bactéries à sérotyper et différents antisérums. Une culture pure de *Salmonella* sur gélose nutritive est utilisée. Les sérums mélanges anti-O ont été testés dans l'ordre suivant :

- OMA ;
- OMB : ce sérum a été testé dans le cas d'une réaction négative dans OMA.

En cas de réaction négative avec l'un des deux sérums OMA et OMB, le sérum anti-Vi et les autres sérums mélanges ont été testés.

## 2-6. Antibiogramme

Dans le but de contribuer au contrôle de l'émergence des bactéries résistantes aux antibiotiques dans l'environnement, un antibiogramme a été réalisé sur les différentes souches de *Salmonella sp.* isolées des

eaux de puits. L'inoculum a été préparé à partir d'une souche bactérienne de 18 à 24 heures, et standardisé pour avoir des colonies jointives après culture sur gélose Mueller Hinton. Trois colonies de la bactérie à étudier ont été prélevées, à la pipette Pasteur munie d'une poire, et introduites dans un tube à bout rodé contenant 10 ml d'eau distillée stérile pour former une suspension. Ensuite, l'inoculum a été ajusté à l'étalon 0,5 Mac Farland ( $10^8$  UFC/mL) par dilution à l'eau distillée stérile. L'ensemencement a été fait par écouvillonnage de la surface entière de la gélose Mueller Hinton avec la suspension bactérienne. Il a été effectué des rotations complètes pour s'assurer d'une bonne répartition de la solution. Les disques d'antibiotiques ont été déposés sur la gélose ainsi ensemencée à 30 mm l'un de l'autre à l'aide d'un applicateur automatique ou à la pince flambée. Les antibiotiques usuels, Amoxicilline + Acide clavulanique, Acide Nalidixique, Gentamycine, Péfloxacin, Tétracycline, Chloramphénicol, Ciprofloxacine, Nitrofurantoïne, Ceftazidime, Triméthoprim-Sulfaméthoxazole, ont été utilisés. Il s'agit des antibiotiques couramment testés sur les souches cliniques de *Salmonella sp.* au Centre Pasteur de Garoua. Les boîtes de Pétri ont ensuite été incubées à la température ambiante pendant 30 minutes pour permettre la pré-diffusion de l'antibiotique dans la gélose. Les boîtes de Pétri ont été portées à incubation à l'étuve à 37°C pendant 24 h. La souche bactérienne de référence *E. coli* ATCC 25922 a été utilisée pour le contrôle de la qualité des disques et du milieu Mueller Hinton utilisés. La lecture et l'interprétation des résultats ont été réalisées conformément aux recommandations du Comité de l'Antibiogramme de la Société Française de Microbiologie [22].

## 2-7. Analyse des données

Le graphe de variation des abondances bactériennes en fonction du point d'eau a été obtenu à l'aide du logiciel Sigma plot.10.0.

## 3. Résultats

### 3-1. Qualité physico-chimique des eaux de puits

Les valeurs maximales et minimales des paramètres physico-chimiques analysés sont consignées dans le **Tableau 2**. Les valeurs de la température enregistrées pour l'ensemble des puits oscillent entre 27,0 (P15) et 32,8 °C (P13). Les écarts de température sont très faibles entre les points d'eau. De même, les variations inter-saisonniers de température sont relativement faibles. Pour l'ensemble des puits étudiés, le pH varie de 4,5 à 7,5 UC. La plus faible valeur a été relevée au niveau du puits P6, et la plus forte au niveau du puits P16. La variation entre les puits est faible. La majorité des puits présentent un pH acide. Les puits P7, P15, P19, P20 et P21 ont des pH proches de la neutralité. Il s'ensuit que la nappe phréatique qui alimente les puits de Garoua est de nature acide à légèrement neutre. Les pourcentages de saturation d'oxygène dissous varient de 10,6 à 98,6 % pour l'ensemble des puits étudiés. Les teneurs en oxygène dissous les plus faibles ont été enregistrées au puits P21, et celles les plus élevées au puits P10. Les variations entre les différents points de prélèvements ont été relativement importantes pour ce paramètre. Les valeurs de CO<sub>2</sub> dissous enregistrées dans l'ensemble des puits varient de 3,5 à 22,9 mg/L, avec la plus forte teneur relevée dans le puits P23 et la plus faible au puits P10 (**Tableau 2**). Les variations spatiales de ce paramètre sont relativement faibles.

**Tableau 2 :** Valeurs minimales et maximales des composantes physico-chimiques des eaux des puits mesurées au cours de l'étude

Puits	Température (°C)		pH (UC)		Conductivité (µS/cm)		TDS (mg/L)		Salinité (ppm)		Oxygène dissous (% de saturation)			TAC		CO2 dissous	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
P 1	29.3	29.8	5.8	6.0	188.1	385.0	131.6	269.0	93.8	191.0	21.2	25.1	20.4	38.0	5.3	8.8	
P2	30.1	30.6	5.9	6.4	254.0	341.0	176.0	240.0	125.0	169.0	19.8	42.3	16.0	38.0	5.3	8.8	
P 3	30.6	31.1	5.9	6.7	142.6	174.9	112.7	142.7	69.9	86.2	52.9	78.1	2.0	36.0	12.3	19.4	
P 4	29.6	30.8	5.8	6.1	1098.0	1282.0	768.0	893.0	548.0	635.0	27.8	41.0	16.0	50.0	5.3	5.3	
P 5	30.2	30.7	5.7	6.8	460.0	722.0	320.0	504.0	227.0	356.0	18.5	63.5	28.0	36.0	10.6	12.3	
P 6	31.0	31.5	4.5	5.4	285.0	365.0	198.0	254.0	141.0	179.0	30.4	64.8	4.0	18.0	7.0	12.3	
P 7	28.4	29.2	7.0	7.2	1393.0	1627.0	970.0	1136.0	697.0	808.0	15.9	22.5	121.4	194.0	5.3	12.3	
P 8	30.0	31.9	6.2	6.3	140.9	177.1	97.0	177.1	69.9	87.1	30.4	58.2	20.4	48.0	8.8	12.3	
P 9	28.5	31.2	5.9	6.2	509.0	621.0	354.0	456.0	252.0	326.0	13.2	92.6	46.0	62.0	5.3	10.6	
P 10	29.4	31.5	5.9	6.6	668.0	752.0	465.0	525.0	334.0	373.0	15.9	98.6	72.0	126.0	3.5	12.3	
P 11	28.7	30.4	6.2	6.7	141.7	157.2	88.2	103.6	61.6	73.8	26.5	41.0	21.6	60.0	10.6	14.1	
P 12	29.6	31.6	5.6	6.1	97.7	182.0	66.7	126.9	47.8	89.7	27.8	63.5	14.0	40.0	5.3	12.3	
P 13	29.8	32.8	6.1	6.5	210.0	266.0	149.0	186.0	105.0	131.0	26.5	46.3	20.4	64.0	7.0	14.1	
P 14	29.7	30.6	6.2	6.3	1311.0	1485.0	916.0	1036.0	654.0	738.0	23.8	37.0	56.0	80.0	5.3	14.1	
P 15	27.0	29.9	7.1	7.3	542.0	739.0	379.0	534.0	271.0	374.0	17.2	45.0	76.0	224.0	8.8	19.4	
P 16	28.1	30.1	5.8	7.5	693.0	828.0	482.0	578.0	342.0	412.0	21.2	87.3	34.0	64.0	12.3	17.6	
P 17	29.5	31.2	5.5	5.8	201.0	266.0	144.0	186.0	100.0	131.0	37.0	64.8	10.0	16.0	5.3	17.6	
P 18	29.4	30.0	5.8	6.1	127.3	213.0	88.3	147.0	62.5	104.0	22.5	38.4	18.0	26.0	8.8	15.8	
P 19	29.1	29.5	6.4	6.6	738.0	936.0	521.0	648.0	369.0	470.0	35.7	52.9	80.0	90.0	5.3	14.1	
P 20	27.9	30.0	6.1	6.9	553.0	2060.0	386.0	1430.0	272.0	1020.0	15.9	50.3	60.0	174.0	3.5	26.4	
P 21	28.2	29.8	6.5	6.5	876.0	1365.0	618.0	947.0	437.0	676.0	10.6	35.7	148.0	194.0	5.3	19.4	
P 22	29.6	30.3	5.1	5.5	78.3	455.0	55.3	317.0	39.4	223.0	52.9	70.1	8.0	16.0	12.3	19.4	
P 23	29.5	29.8	6.3	6.4	117.5	180.0	80.0	125.9	36.5	89.6	46.3	56.9	14.0	46.0	10.6	22.9	

*Min : Minimum ; Max : Maximum.*

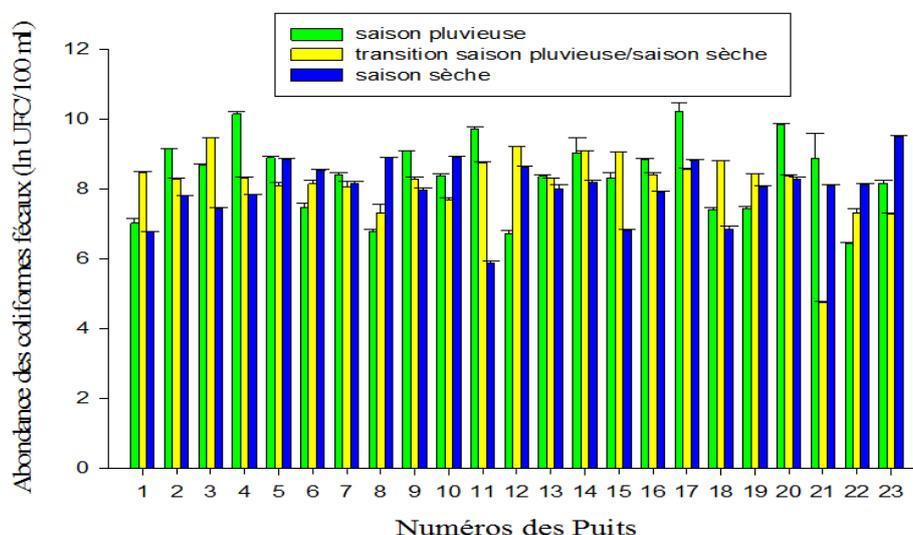
Les valeurs de la conductivité électrique fluctuent entre 78,3  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (P22) et 2060,0  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (P20) (**Tableau 2**). Les valeurs obtenues permettent de classer les différents points de prélèvement en cinq groupes selon les critères définis par [19] :

- le premier est constitué par les puits dont les eaux sont faiblement minéralisées ( $100 \mu\text{S}/\text{cm} < \text{conductivité électrique} \leq 200 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) ; il s'agit des puits P3, P8, P11, P12, P18 et P23 ;
- le second groupe réunit les puits ayant une minéralisation moyenne ( $200 \mu\text{S}/\text{cm} < \text{conductivité électrique} \leq 333 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) ; il s'agit des puits P1, P2, P6, P13, P17 et P22 ;
- les points d'eau réunis dans le troisième groupe et caractérisés par une minéralisation moyenne accentuée ( $333 \mu\text{S}/\text{cm} < \text{conductivité électrique} \leq 666 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) concernent uniquement les puits P5 et P9 ;
- les points d'eau constituant le quatrième groupe (P10, P15, P16, P19) ont une minéralisation importante ( $666 \mu\text{S}/\text{cm} < \text{conductivité électrique} \leq 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) ;
- les autres points de prélèvement, qui forment le cinquième groupe, ont une minéralisation élevée (conductivité électrique supérieure à  $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) ; il s'agit des puits P4, P7, P14, P20 et P21 ;
- La conductivité électrique augmente légèrement de la saison pluvieuse à la saison sèche dans quelques puits.

Les teneurs en solides totaux dissous ont varié entre 55,3 (P22) et 1430,0 mg/L (P20) dans les eaux de puits de la zone d'étude (**Tableau 2**). De même, la valeur la plus faible (39,4 ppm) de la salinité a été notée au puits P22, et la plus forte (1020,0 ppm) a été enregistrée au puits P20 (**Tableau 2**). Comme dans le cas de la conductivité électrique, les variations spatiales des valeurs de ces deux paramètres sont assez importantes. Les valeurs de titre alcalimétrique complet (TAC) qui sont enregistrées et exprimées en concentrations d'ion  $\text{HCO}_3^-$  indiquent pour les eaux des puits étudiés une importante variation spatiale. Les valeurs obtenues varient de 2,0 à 224,0 mg (de  $\text{HCO}_3^-$ )/L respectivement au puits P3 et au puits P15 (**Tableau 2**). Le titre alcalimétrique complet (TAC) indique des variations importantes pour toutes les eaux des puits étudiés.

### 3-2. Les bio-indicateurs de contamination fécale

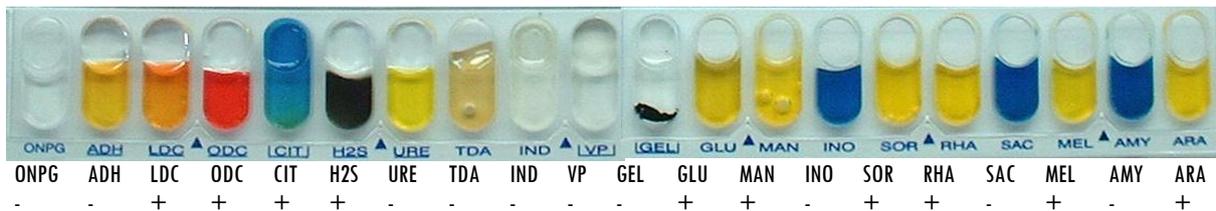
Les valeurs maximales et minimales des abondances des bio-indicateurs de contamination fécale relevées au cours de l'étude sur les eaux des puits, sont rassemblées dans la **Figure 2**. Les abondances des coliformes fécaux varient de  $1,2 \cdot 10^2$  à  $2,3 \cdot 10^4$  UFC/100 mL dans l'ensemble des échantillons d'eau de puits analysés. L'abondance maximale a été enregistrée dans le puits P4 et l'abondance minimale au puits P19. La saison des pluies est caractérisée par des abondances en coliformes fécaux les plus élevées dans la plupart des sites.



**Figure 2 :** Variation d'abondances inter-saisonniers des coliformes fécaux dans les eaux de puits

**3-3. Bactéries pathogènes (*Salmonella sp* et *Vibrio cholerae*)**

Notre objectif ici était d'isoler, à partir des échantillons d'eau de puits de toute notre zone d'étude, un grand nombre de souches de *Salmonella sp.* et de *Vibrio cholerae* pour avoir la plus grande diversité possible de ces bactéries. Sur les 138 échantillons d'eau analysés, aucun n'a été positif pour la recherche de *V. cholerae*; par contre, 23 échantillons se sont révélés positifs à *Salmonella sp.* L'identification de *Salmonella sp.* a été effectuée à l'aide de la galerie Api 20E de BioMérieux. La **Figure 3** présente les caractères biochimiques ayant permis d'identifier une souche bactérienne appartenant au genre *Salmonella*.



**Figure 3 :** Caractères biochimiques de *Salmonella sp.* révélés à l'aide de la galerie Api 20E

(-): réaction négative; (+): réaction positive; ONPG : orthonitrophényl-β-D-galacto-pyranoside ; ADH : arginine-dihydrolase ; LDC : lysine-décarboxylase ; ODC : ornithine-décarboxylase ; CIT : Citrate ; H<sub>2</sub>S : sulfure d'hydrogène ; Uré : uréase ; TDA : tryptophane désaminase ; Ind : indole ; VP : Réaction de Voges Proskauer ; GEL : Gélatinase ; Glu : glucose; Man: mannitol; INO : Inositol ; SOR : Sorbitol ; RHA : Rhamnose ; SAC : Saccharose ; MEL : Mellobiose ; AMY : Amylose ; ARA : Arabinose.

Le sérogroupage réalisé au moyen de sérums du schéma de Kauffmann-White disponibles au laboratoire du Centre Pasteur de Garoua a permis d'obtenir deux sérogroupes tels que répartis dans le **Tableau 3**.

**Tableau 3 :** Répartition des souches de salmonelles en fonction des puits contaminés

Puits	Quartier	<i>Salmonella</i> OMA	<i>Salmonella</i> OMB
P1	Roundé-Adjia	0	4
P2	Base Aérienne	0	9
P3	Ngalbidjé	4	31
P7	Poumpoumré	6	0
P9	Camp chinois	3	0
P13	Bocklé	0	3

Le **Tableau 3** montre que la contamination des eaux de puits par les salmonelles n'est pas généralisée et est plus accentuée dans les puits de Ngalbidjé (P3) et de Base Aérienne (P2). L'élevage des bœufs et des poulets est pratiqué aux alentours de ces points d'eau. Les sérogroupes OMA et OMB sont tous les deux représentés à Ngalbidjé. Aux quartiers Poumpoumré et Camp chinois, seul le séro groupe OMA est présent ; tandis que les quartiers Roundé-Adjia, Base Aérienne et Bocklé ne comportent que le séro groupe OMB. L'étude de l'antibio-résistance des salmonelles a été réalisée sur l'ensemble des souches isolées. Il en ressort que presque toutes les souches testées sont sensibles aux antibiotiques habituellement utilisés en clinique dans la zone d'étude. La seule résistance enregistrée concernait la tétracycline pour la souche OMA isolée du puits P7.

## 4. Discussion

### 4-1. Physico-chimie des eaux de puits

La température de l'eau est un facteur important dans la production biologique. Ceci vient du fait qu'elle affecte les propriétés physiques et chimiques de celle-ci ; en particulier sa densité, sa viscosité, la solubilité de ses gaz (notamment celle de l'oxygène) et la vitesse des réactions chimiques et biochimiques [23]. Dans la région d'étude, les résultats obtenus montrent que la température de l'eau ne présente pas de grandes variations d'un puits à l'autre. Les valeurs de la température enregistrées pour l'ensemble des puits oscillent entre 27,0 (P15) et 32,8 °C (P13). De même, les variations inter-saisonniers de température sont relativement faibles. [19] considère que pour qu'une eau potable soit désaltérante, sa température doit se situer entre 8 et 15 °C car entre 20 et 25 °C, elle désaltère mal. Une eau de température située entre 25 et 28 °C constituerait un bon milieu de culture pour les microorganismes de l'environnement [24]. Ces températures correspondent à celles des eaux de puits des milieux tropicaux et créent des conditions favorables à leur pollution [24, 25]. Les faibles variations de la température enregistrées dans les eaux de puits peuvent s'expliquer par l'influence de plusieurs facteurs: l'heure à laquelle les mesures ont été prises, les caractéristiques morphométriques des sites de prélèvement (altitude, pente, largeur, profondeur), la saison et leur environnement (végétation, ombrage).

Dans cette étude, les valeurs de pH enregistrées sont comprises entre 4,5 et 7,5 UC. La majorité des points d'eau présentent un pH inférieur 7 UC. Ces faibles valeurs de pH peuvent être expliquées par la nature géologique des roches des bassins versants (influence du grès) [16]. Certaines eaux sont cependant basiques (pH supérieur à 7 UC). Elles concernent les sites à eau très fortement minéralisée. D'après [16], les eaux souterraines à fortes teneurs en ions majeurs, Magnésium et Calcium, et en bicarbonates principalement, présentent des pH basiques dans la zone d'étude. L'oxygène dissous dans les eaux de puits étudiées a montré des valeurs comprises entre 10,6 et 98,6 % de saturation (0,8 à 8,0 mg/L). D'après [26], la valeur optimale de la teneur en oxygène dissous pour une eau de bonne qualité se situerait entre 4 et 6 mg/L. Des valeurs plus faibles indiqueraient une eau de qualité médiocre ou fortement polluée. Les faibles teneurs en oxygène dissous suggèrent la présence, dans les eaux de puits correspondantes, de matières réductrices, notamment de matières organiques et de bactéries hétérotrophes, consommatrices d'oxygène [12]. Les variations entre les différents points de prélèvements ont été relativement faibles pour ce paramètre. La mesure de la conductivité électrique permet d'avoir une idée très approximative de la quantité des sels dissous dans l'eau, donc de sa minéralisation [19].

Les valeurs de conductivité mesurées fluctuent entre 78,3  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 2060,0  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En considérant seulement la conductivité électrique, selon l'OMS [1] la moitié des eaux de puits étudiés seraient classées parmi les eaux d'excellente qualité, les valeurs moyennes obtenues étant inférieures à 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Les résultats de cette étude sont similaires à ceux obtenus par Njitchoua [17]. Cet auteur indique que les eaux souterraines de Garoua sont bicarbonatées calciques à sodiques et leur minéralisation s'acquiert par hydrolyse des minéraux silicatés contenus dans le grès. La conductivité électrique dépend des charges de matières organiques endogènes et exogènes, génératrices de sels après décomposition et minéralisation et également avec le phénomène d'évaporation qui concentre ces sels dans l'eau, elle varie aussi suivant le substrat géologique traversé [23]. Les TDS sont en général composés de sels inorganiques et de quelques matières organiques [27]. Les solides totaux dissous (TDS) et la salinité des eaux de puits analysées ont respectivement varié entre 55,3 et 1430 mg/L et 36,5 et 1020 ppm. Les valeurs de teneurs en TDS obtenues tout au long de l'étude se situent en-deçà des normes (500 mg/L) préconisées par l'OMS [1], pour certains puits et largement au-delà de ces normes pour d'autres puits. D'après l'OMS [1] les fortes valeurs des TDS de l'eau ne représentent pas un danger direct pour la santé du consommateur. Toutefois, de par leur composition probable, les teneurs

élevées en TDS présenteraient un risque sanitaire important pour les consommateurs de l'eau [28, 29]. Les TDS et la salinité ont montré à peu près les mêmes variations que la conductivité. La mesure des solides totaux dissous (TDS) représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau. D'après [16], la dissolution continue des minéraux plagioclases et des minéraux carbonatés pourrait généralement conduire à une augmentation de la salinité et des teneurs en  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , et  $\text{HCO}_3^-$  dans les eaux souterraines de Garoua augmentant ainsi leur conductivité électrique. Le titre alcalimétrique complet (TAC) enregistré et exprimé en concentrations d'ion  $\text{HCO}_3^-$  indique des variations importantes pour toutes les eaux de puits étudiées. Le sol de Garoua étant majoritairement gréseux, l'infiltration directe des eaux de ruissellement est facile et rapide sur l'ensemble du bassin [17]. Les puits présentant des eaux à forte alcalinité sont situés dans des zones inondables et d'entassement d'ordures ménagères. Ce résultat montre que ce sont les activités des populations riveraines qui seraient responsables au premier chef de la dégradation de la qualité de ces eaux. Les teneurs en  $\text{CO}_2$  libre sont comprises entre 3,5 et 26,4 mg/L. Elles sont dans l'ensemble des points d'eau toujours faibles. Les variations spatiales de ce paramètre sont relativement faibles. Les variations spatio-temporelles des teneurs en  $\text{CO}_2$  refléteraient la respiration des sols encaissants liée à la dégradation des composés organiques par les microorganismes [30].

#### 4-2. Coliformes fécaux

Les coliformes fécaux sont utilisés comme indicateurs de contamination potentielle des points d'eau étudiés, par des germes pathogènes transmissibles par voie féco-orale [1]. Les points d'eau analysés hébergent des coliformes fécaux en concentrations relativement élevées. Ces résultats marquent une contamination fécale évidente des échantillons d'eau de puits analysés. La saison des pluies est caractérisée par des abondances en coliformes fécaux les plus élevées dans la plupart des sites. Les facteurs de contamination peuvent être multiples : le niveau d'aménagement du puits (manque d'étanchéité, du couvercle ou du scellement), le sol environnant (absence d'un monticule autour du puits pour éloigner le ruissellement de surface), la proximité avec les latrines ou encore l'insalubrité des lieux [31, 32]. La ville de Garoua présente un aquifère majoritairement formé de grès, à porosité intergranulaire, dont la contamination par des sources de pollution proches serait directe et facile [16]. Les eaux superficielles chargées en microorganismes s'infiltrant dans le sol, pourraient parvenir à la nappe sans avoir bénéficié d'une filtration efficace, et occasionner une multitude de pollutions ponctuelles. Ces puits ne présentent pas de périmètre de protection, ils sont parfois proches des sources de pollution comme les latrines, les élevages de toutes sortes et des champs, où les matières fécales sont utilisées pour fertiliser le sol. D'après [12], l'eau d'une nappe phréatique apparaît généralement d'autant plus vulnérable que les sources superficielles de pollution sont importantes, nombreuses et proches du point d'eau. De plus, presque tous les ménages utilisent des récipients, qui sont parfois posés au sol, pour remonter de l'eau des puits ; ce qui aggraverait la contamination bactérienne de ces puits. La présence de fortes abondances de coliformes fécaux dans les eaux de puits de Garoua indique que leur consommation par la population expose cette dernière à des maladies d'origine microbienne telles que la fièvre typhoïde, la dysenterie bacillaire, les gastroentérites, les hépatites A et E [1].

#### 4-3. Bactéries pathogènes (*Salmonella sp.* et *Vibrio cholerae*)

Quelques souches de *Salmonella sp.* ont été isolées des eaux de puits de Garoua au cours de l'étude. Ces souches appartiennent à deux sérogroupes différents (OMA et OMB). La survie des bactéries pathogènes dans l'environnement contribue au maintien de leur cycle épidémiologique [33]. Les puits de Garoua pourraient constituer une source potentielle d'épidémies de salmonelloses. La plupart des puits étudiés sont construits sans aucune technicité et sans tenir compte des normes en la matière (loi N° 98/005 du 14 avril 1998 portant régime de l'eau, décret N° 2001/163/PM du 08 mai 2001 réglementant les périmètres de protection autour

des points de captage, de traitement, de stockage des eaux potabilisables). En effet, les points d'eau sont situés proches des sites de pollution par les matières fécales animales (bovins, caprins, volaille, etc.) et humaines. Les bactéries pathogènes pourraient être introduites dans les eaux souterraines par les puisettes utilisées pour prélever de l'eau, par infiltration dans le sol ou par la poussière [34 - 37]. L'évaluation de l'implication de ces mécanismes dans le transfert des bactério-contaminants aux eaux souterraines est à entreprendre dans la ville de Garoua. La contamination des puits par ces bactéries n'est pas généralisée. Leur détection a été sporadique en raison de leur taux de contamination et de leur survie dans le milieu qui sont relativement faibles [38]. D'autres raisons peuvent expliquer la détection sporadique des salmonelles. L'émergence de ces souches passe parfois par une étape viable mais non cultivable lorsque les conditions abiotiques du milieu paraissent relativement stressantes [39]. Au cours de la saison sèche, les cellules de *Salmonella* peuvent être libérées des sédiments [40, 41]. Plusieurs facteurs affectent la contamination des eaux souterraines par les bactéries pathogènes. Il s'agit principalement de la concentration de ces microorganismes dans le polluant, de leur réservoir et de son taux d'infection, de la persistance des pathogènes dans l'environnement, de la capacité d'adsorption du sol entre autres [42 - 45]. La présence des bactéries pathogènes d'origine entérique telles que les salmonelles dans les eaux de consommation humaine expose les consommateurs au risque d'épidémies de gastroentérites. Des mesures doivent être prises par les pouvoirs publics pour la désinfection de ces eaux avant leur utilisation et la surveillance de ces dernières. Il ressort de l'antibiogramme réalisé que presque toutes les souches testées sont sensibles aux antibiotiques habituellement utilisés en clinique dans la zone d'étude. La seule résistance enregistrée concernait la tétracycline pour la souche OMA isolée du puits P7. Deux raisons permettent d'expliquer la sensibilité des salmonelles à la majorité des antibiotiques testés :

- la majorité des souches de *Salmonella sp.* isolées présenteraient un phénotype sauvage ;
- l'antibio-résistance portée par les plasmides pouvant être perdue lors de l'isolement bactérien [46], le comportement des souches de *Salmonella* vis-à-vis des antibiotiques testés pourrait évoluer au cours de l'étude.

Aucune souche de *V. cholerae* n'a été isolée au cours de l'étude. Garoua étant une zone où des épidémies de choléra sont souvent déclarées, les bactéries de cette espèce pourraient être présentes dans l'environnement dans un état viable mais non cultivable (VNC) ou en association avec d'autres organismes du milieu [47].

## 5. Conclusion

Les résultats de cette étude ont montré que les eaux de puits de Garoua ne sont pas toujours de bonne qualité. Elles hébergent des bactéries indicatrices de contamination fécale. Quelques-uns de ces puits sont contaminés par les salmonelles de sérogroupes OMA et OMB. La plupart des souches de salmonelles isolées de ces puits sont sensibles aux antibiotiques utilisés en clinique localement. *Vibrio cholerae* quant à lui n'a été isolé dans aucun des puits ayant fait l'objet de l'étude. Il est indispensable que la population soit sensibilisée sur la qualité de ses sources d'eau et la nécessité de traiter l'eau de puits à domicile avant tout usage.

## Références

- [1] - WHO, "Guidelines for drinking water quality, 4<sup>th</sup> ed.", Ed. WHO, Geneva, (2011)
- [2] - E. NEGERA, G. NURO and M. KEBEDE, *African Journal of Microbiology Research*, 11 (6) (2017) 254 - 263
- [3] - WHO, "Preventing diarrhoea through better water, sanitation and hygiene: exposures and impacts in Low and Middle-Income Countries", Ed. WHO, Geneva, (2014)
- [4] - P. NCHOJI NKWI, *J. Diarrheal Dis. Res.*, 12 (1) (1994) 35 - 41

- [5] - H. B. NGUENDO YONGSI, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 5 (2008) 213 - 229, DOI: 10.3390/ijerph5040213
- [6] - M. J. WIRMVEM, W. Y. FANTONG, E. R. WOTANY, T. OHBA, S. NDONWI AYONGHE, *Journal of Environmental Science and Water Resources*, 2 (4) (2013) 127 - 132
- [7] - H. B. NGUENDO YONGSI, *Journal of Health, Population and Nutrition*, 28 (5) (2010) 424 - 435
- [8] - T. J. GORHAM, J. YOO, R. GARABED, A. MOUHAMAN, J. Lee, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 14 (4) (2017) 441, DOI : 10.3390/ijerph14040441
- [9] - A CRUMP, S. P. LUBY and E. D. MINTZ, *Bulletin of the World Health Organization*, 82 (5) (2004) 346 - 352
- [10] - A. P. MASKEY, J. N. DAY, P. Q. TUAN, G. E. THWAITES, J. I. CAMPBELL, M. ZIMMERMAN, J. J. FARRAR and B. BASNYAT, *Clinical Infectious Diseases*, 42 (2006) 1247 - 1253
- [11] - BUCREP, « Recensement général des populations et de l'habitat. Rapport de présentation des résultats définitifs » (2010). www.bucrep.cm, (Juin 2017)
- [12] - M. DJAOUA, T. NJINE, S. LIANG, D. EBANG MENYE, B. GAKÉ, S. H. ZEBAZE TOGOUET and M. NOLA, *Water Quality Exposure and Health*, (2014), DOI 10.1007/s 12403-014-0120-Z
- [13] - M. DJAOUA, G. BOUBA, D. EBANG MENYE, S. H. ZÉBAZÉ TOGOUET, M. NOLA and T. NJINÉ, *International Journal of Bacteriology*, (2013) 1 - 7, DOI: 10.1155/2013/127179
- [14] - M. TSALEFAC, R. NGOUFO, W. NKWAMBI, E. DJOUMESSI TATSANGUE et B. LENGUE FOBISSIE, *Publication de l'Association Internationale de Climatologie*, 15 (2003) 359 - 367
- [15] - M. TCHOTSOUA, J.-M. FOTSING et A. MOUSSA, *Actes des JSIRAUF*, Hanoi, (2007)
- [16] - R. NJITCHOUA, L. DEVER, J. C. FONTES and E. NAAH, *Journal of Hydrology*, 190 (1997) 123 - 140
- [17] - R. NJITCHOUA, « Hydrochimie et géochimie isotopiques des eaux souterraines de la nappe des Grès de Garoua, (Nord-Cameroun) », Thèse nouveau Doctorat, Université de Paris 11, Orsay, France, (1991) 120 p.
- [18] - P. A. TAMFUH, E. D. WOUUMFO, D. BITOM and D. NJOPWOUO, *The Open Geology Journal*, 5 (2011) 33 - 55
- [19] - J. RODIER, « L'analyse de l'eau, 9e édition », Ed. Dunod, Paris, (2009)
- [20] - APHA (American Public Health Association), « *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th edition* », Ed. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington, DC, (2012)
- [21] - M. S. ISLAM, M. K. HASAN, M. A. MIAH, M. YUNUS, K. ZAMAN and M. J. ALBERT, *Appl. Environ. Microbiol.*, 60 (5) (1994) 1684
- [22] - CASFM, « *Recommandations 2012* ». <http://www.sfm-microbiologie.org/>, (Décembre 2012)
- [23] - M. L. BELGHITI, A. CHAHLAQUI and D. BENGOU, ScienceLib Editions Mersenne, Vol. 5, N ° 130115 (2013)
- [24] - J-P. CHIPPAUX, C. PERNOT, D. JOUANNEAU, G. CIORNEI, P. MOULIN-ESNART et D. COURET, *Environnement, Risques et Santé*, 6 (5) (2007) 373 - 381
- [25] - M. E. NOUGANG, « *Souches pathogènes d'Escherichia coli dans les eaux souterraines et de surface des villes de Douala et Yaoundé (Cameroun), et importance de quelques facteurs abiotiques* », Thèse de Doctorat/Ph.D, Université de Yaoundé 1, Yaoundé, (2012) 150 p.
- [26] - M. SANTOSH, S. M. AVVANAVAR and S. SHRIHARI, *Environmental Monitoring and Assessment*, 143 (2008) 279 - 290
- [27] - L. MATINI, J. M. MOUTOU et M. S. KONGO-MANTONO, *Afrique Science*, 5 (1) (2009) 82 - 98
- [28] - K. SRINIVASAMOORTHY, S. CHIDAMBARAM, V. S. SARMA, M. VASANTHAVIGAR, K. VIJAYARAGHAVAN, R. RAJIVGANDHI, P. ANANDHAN and R. MANIVANNAN, *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, 1 (2) (2009) 22 - 33
- [29] - M. MONJEREZI and C. NGONGONDO, *Water Quality, Exposure and Health*, 4 (2012) 39 - 53
- [30] - P. DUCHAUFOR, « *Abrégé de pédologie-sol, végétation, environnement, 5e édition* », Dunod, Paris, (1997)
- [31] - F. BACCI and D. V. CHAPMAN, *Journal of Water and Health*, 9 (4) (2011) 738 - 751
- [32] - C. MUKHOPADHYAY, S. VISHWANATH, V. K. ESHWARA, S. A. SHANKARANARAYANA and A. SAGIR, *Journal of Infection and Public Health*, 5 (2012) 257 - 262

- [33] - B. FREMAUX, M. L. DELIGNETTE-MULLER, C. PRIGENT-COMBARET, A. GLEIZAL and C. VERNIZY-ROZAND, *Journal of Applied Microbiology*, 102 (2007) 89 - 99
- [34] - T. R. GINN, B. D. WOOD, K. E. NELSON, T. D. SCHEIBE, E. M. MURPHY and T. P. CLEMENT, *Advances in Water Resources*, 25 (2002) 1017 - 1042
- [35] - M. TEKPOR, M. O. AKRONG, M. H. ASMAH, R. A. BANU, E. D. O. ANSA, *Appl. Water Sci.*, 7 (2017) 2571 - 2576
- [36] - N. R. NGWA and N. CHRYSANTHUS, *Journal of Water Resource and Protection*, 5 (2013) 1013 - 1017
- [37] - M. I. DYKE, V. K. MORTON, N. L. MCLEELAN and P. M. HUCK, *Journal of Applied Microbiology*, 109 (3) (2009) 1053 - 1066
- [38] - J. P. CABRAL, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7 (10) (2010) 3657 - 3703
- [39] - A. JOLIVET-GOUGEON, Z. TAMANAI-SHACOORI, M. POMMEPUY and M. CORMIER, *Oceanologica Acta*, 23 (2000) 221 - 228
- [40] - A. R. CIZEK, G. W. CHARACKLIS, L. KROMETISA, J. A. HAYES, O. D. SIMMONS, S. DI LONARDO, K. A. ALDERISIO and M. D. SOBSEY, *Water Research*, 42 (17) (2008) 4421 - 4438
- [41] - L. HALLER, J. POTÉ, J-L. LOIZEAU and W. WILDI, *Ecological Indicators*, 9 (2009) 540 - 547
- [42] - S. C. EDBERG, E. W. RICE, R. J. KARLIN and M. J. ALLEN, *Journal of Applied Microbiology*, 88 (2000) 1065 - 1165
- [43] - N. J. ASHBOLT and M.V. STOREY, *Water Supply*, 3 (3) (2003) 93 - 100
- [44] - L. SINTON, C. HALL, and R. BRAITHWAITE, *Journal of Water and Health*, 5 (3) (2007) 357 - 365
- [45] - C. MURRAY, D. ROD, B. ANDREW, P. RUTH, S. MARION and S. ZELLA, *Journal of Water and Health*, 6 (1) (2008) 83 - 98
- [46] - J. M. SARGEANT, D. J. HAFER, J. R. GILLESPIE, R. D. OBERST and S. J. FLOOD, *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 215 (1999) 792 - 794
- [47] - A. EILER, C. GONZALEZ-REY, S. ALLEN and S. BERTILSSON, *FEMS Microbiology Ecology*, 60 (2007) 411 - 418