

MODIFICATIONS DES PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES ET D'ABONDANCES BACTERIENNES DES EAUX SOUTERRAINES EN REPOSE A UNE LONGUE DUREE DE STOCKAGE DANS LES RECIPIENTS A DOMICILE

MOUSSA DJAOUDA*, NJINE T., NOLA M., ZEBAZE TOGOUET S.H.

Université de Yaoundé I, Laboratoire de Biologie Générale, B.P. 812 Yaoundé, Cameroun.

* correspondance : djoubei@yahoo.fr.

Abstract : Une étude a été conduite dans le but de déterminer les variations des propriétés physico-chimiques et la dynamique d'abondance des bactéries dans les échantillons d'eaux souterraines en condition de stockage. Les échantillons d'eau analysés ont été obtenus des sources et des puits de Yaoundé. La durée de stockage a été de 144 heures et chaque échantillon stocké en duplicat dans 2 bidons, l'un ouvert et l'autre fermé a été analysé toutes les 24 heures. Les techniques utilisées pour l'analyse physico-chimique ont été celles décrites dans *l'Analyse de l'eau* par Rodier (1996). Pour le dénombrement des germes, les techniques utilisées ont été celles des membranes filtrantes et d'étalement en surface. Il résulte que les eaux des puits présentent une forte minéralisation et des teneurs en MES élevées par rapport aux eaux de sources. Les valeurs de pH toutes acides dépendent quant à elles de la répartition spatiale et non de la nature des points d'eau (source ou puits) et augmentent au cours de son stockage plus nettement en condition de bidon ouvert que fermé. Les teneurs en MES et la conductivité électrique ont varié au cours du stockage. Les abondances bactériennes dans les eaux, aux jours de prélèvement atteignent en moyennes 1470 UFC/mL pour les BHAM, 550 UFC/100 mL pour les staphylocoques et 1365 UFC/100 mL pour les Enterobacteriaceae. Au bout de 144 heures de stockage, on observe une diminution générale de l'abondance des staphylocoques et des entérobactéries aussi bien dans les eaux de sources que dans celles de puits. Les taux d'inhibition apparents de croissance des staphylocoques ont atteint -16,4 divisions/jour dans les eaux de sources et -68,22 divisions/jour dans les eaux de puits. Ceux des entérobactéries ont atteint -28,78 divisions/jour et -74,69/jour dans les eaux de sources et de puits respectivement. L'abondance des BHAM augmente considérablement au bout de 144 heures de stockage d'eau. Leurs taux de croissance apparents ont été élevés dans les eaux de sources comme dans celles de puits et ont atteint 1931,1 divisions/jour. Les abondances des staphylocoques et celles des entérobactéries sont positivement corrélées ($P < 0,05$ et $P < 0,01$) ; elles seraient influencées par les mêmes caractéristiques de l'eau souterraine pendant son stockage. En général, la condition de stockage (bidon ouvert ou bidon fermé) n'affecte pas significativement l'abondance des entérobactéries et des staphylocoques. Les résultats suggèrent que la dynamique d'abondance bactérienne dans l'eau souterraine serait déterminée par les caractéristiques chimiques et biologiques et les activités et interactions des microorganismes des eaux stockées.

Mots clés: Physico-chimie, eaux souterraines, stockage, dynamique d'abondance, staphylocoques, Enterobacteriaceae, BHAM.

1- INTRODUCTION

Dans les villes des pays en développement, l'eau de boisson est obtenue des points d'eau traditionnels (puits et sources) dans beaucoup de quartiers défavorisés. Les ménages qui n'ont pas de puits dans leurs concessions sont obligés de se ravitailler en eau plus ou moins loin de leurs habitations. Ceci exige parfois une grosse perte d'énergie physique dans les régions à relief accidenté. La région de Yaoundé, par exemple, est caractérisée par de nombreux talwegs et interfluves ; le transport d'eau des sources et des puits jusqu'aux divers domiciles y est difficile. Pour réduire les dépenses importantes d'énergie physique qu'exige ce transport, le stockage des eaux souterraines pendant plusieurs jours dans divers types de récipients se présente comme la solution la plus adéquate. Les qualités microbiologique et physico-chimique de ces eaux sont le plus souvent ignorées des consommateurs.

La mauvaise qualité d'une eau est responsable des risques sanitaires chez les consommateurs. Les risques à moyen et long termes sont liés à une mauvaise qualité physico-chimique, alors que ceux à court terme sont liés aux caractéristiques microbiologiques de l'eau. Les eaux souterraines peuvent être contaminées à leur source par infiltration des matières fécales ou au cours de leur stockage suite à une contamination secondaire au sein des ménages (Mintz *et al.*, 1995). Momba & Notshe (2003), puis Wright *et al.* (2004) suggèrent que les conditions de transport et de stockage de l'eau depuis sa source sont susceptibles de modifier sa qualité. Le développement des communautés microbiennes dans les eaux de surface ou souterraines est lié aux caractéristiques physico-chimiques et biologiques du biotope à l'instar de la température, du pH, des matières organiques, de l'oxygène dissous, et de la microflore endogène (Nola *et al.*, 2002).

Le contrôle de qualité microbiologique d'une eau, dans les pays en développement, quand il existe, s'exerce prioritairement sur les zones de captage. A Yaoundé, très peu d'attention a été

accordée à la qualité bactériologique de l'eau au moment de sa consommation au sein des ménages. De plus, il n'existe à notre connaissance aucune information sur la modification des caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des eaux d'origine souterraine pendant leur stockage au sein des ménages. On ignore donc quelle relation pourrait exister entre la composition de la microflore bactérienne, et les variations des caractéristiques chimiques de l'eau, au cours de son stockage. Peu de données sont également disponibles sur la nature des risques encourus par les populations consommatrices de ces eaux stockées.

L'objectif principal de ce travail est d'évaluer la dynamique d'abondance des staphylocoques, des Enterobacteriaceae et des BHAM en général dans les eaux souterraines de Yaoundé lorsqu'elles sont puisées par les populations et stockées dans les domiciles pendant plusieurs jours en bidon ouvert ou fermé dans le but d'en déduire le risque réel au moment de l'utilisation de ces eaux.

2- MATERIEL ET METHODES

2.1- Terrain d'expérimentation

La ville de Yaoundé est située à environ 250 km de la côte atlantique au 3°52' de latitude nord et au 16° 04' de longitude Est (Santoir, 1995). Cette ville est soumise à un climat de type équatorial à pluviométrie bimodale comportant quatre (4) saisons qui s'alternent dans l'année (Suchel & Tsalefack, 1995): une grande saison sèche de mi-novembre à mi-mars, une petite saison pluvieuse de mi-mars à juin, une petite saison sèche de juillet à août et une grande saison pluvieuse de septembre à novembre.

La moyenne annuelle des pluies y est de 1650 mm, celle de la température de 23,5°C avec des fluctuations de 16°C à 31°C selon les saisons. L'humidité relative moyenne est de 80% et varie dans la journée entre 35 et 98%.

Le relief de la région de Yaoundé est accidenté avec une altitude moyenne de 759 m. Les vents violents sont orientés Nord/Ouest alors que les vents fréquents (humides) soufflent en direction Sud-Ouest/Ouest (Wéthé, 1999).

La figure 1 indique l'emplacement des sites de prélèvements. 4 sources (S1, S2, S3, S4) et 4 puits (P1, P2, P3, P4) ont été choisis en fonction de leur répartition spatiale et de leur importance relative pour les populations utilisatrices ; un point d'eau est d'autant plus important que le volume d'eau puisée est élevé et que l'eau puisée est prioritairement

destinée à l'alimentation humaine.

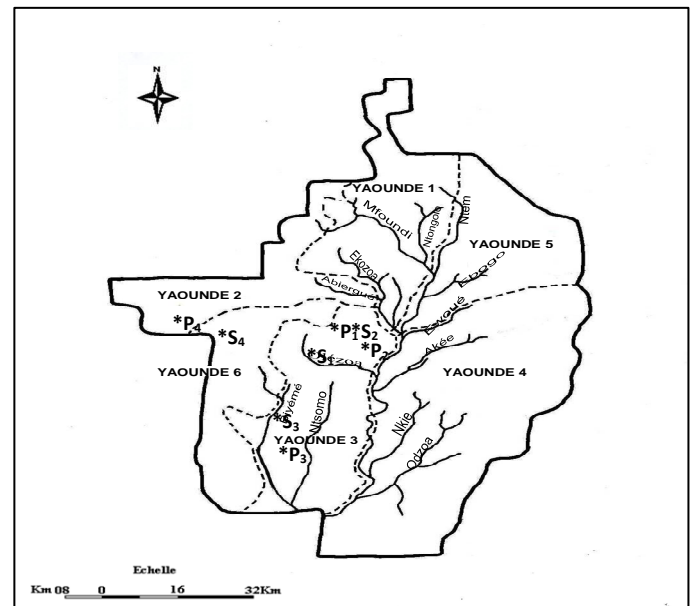


Figure 1. Emplacement des sites de prélèvements sur la carte de Yaoundé.

2.2- Echantillonnage

Pour chaque point d'eau, 4 échantillons ont été prélevés dont 2 dans deux bidons en polyéthylène stériles de 10 litres chacun, un dans un flacon en verre stérile de 500 mL et un dans un flacon en polyéthylène de 1000 mL. Des prélèvements sur le terrain ont été effectués pendant la grande saison sèche de décembre 2005 à mars 2006.

L'échantillon prélevé dans le flacon en verre a servi aux analyses bactériologiques et celui prélevé dans le flacon en polyéthylène aux analyses physico-chimiques initiales. Ces deux types d'analyses ont été effectués dans les 2 heures, au plus, qui suivaient les prélèvements.

Pour les échantillons prélevés dans les bidons en polyéthylène de 10 litres, l'un a été conservé en condition de bidon fermé et l'autre en condition de bidon ouvert. Ils ont ensuite été gardés au laboratoire à température ambiante (23±2°C) pendant 144 heures.

A l'aide d'un perfuseur fixé à la base de chaque bidon, 2 sous-échantillons ont été prélevés de chaque récipient toutes les 24 heures et introduits dans deux flacons stériles. Ces sous-échantillons ont servi d'une part aux analyses physico-chimiques et, d'autre part, aux analyses bactériologiques. Les échantillons prélevés d'un bidon sont désignés par Ji (i de 0 à 6) selon que l'eau a séjourné pendant i jour(s) au laboratoire. Ainsi l'échantillon J0 est celui qui est analysé au jour même du prélèvement.

2.3- Analyses physico-chimique et bactériologique

Les paramètres physico-chimiques considérés ont été le pH, la conductivité électrique, la température et les matières en suspension (MES). Ils ont été analysés suivant les techniques préconisées par Rodier (1996).

Les bactéries des groupes des staphylocoques et des Enterobacteriaceae ont été recherchées, isolées puis dénombrées par la technique des membranes filtrantes sur milieux Baird-Parker et XLD (Xylose Lysine Désoxycholate) respectivement et les bactéries hétérotrophes aérobies mésophiles par la technique de platage sur gélose ordinaire (APHA, 1998). Les formules des milieux de culture sont celles de Marchal *et al.* (1991). Les tests de la galerie classique ont été utilisés pour l'identification des bactéries selon les propositions de Holt *et al.* (2000).

2.4- Analyse des données

La première méthode d'analyse des données obtenues, essentiellement graphique, s'est appuyée sur le logiciel Excel. Grâce au logiciel SPSS, des tests de comparaison et des corrélations entre les variables bactériologiques et physico-chimiques ont été calculés. Les taux de croissance et d'inhibition apparents des bactéries ont été estimés à l'aide de la pente de la droite de régression empirique d'équation (Hans & Zwieters, 1999) : $Y = aX + b$

La valeur de la pente a est donnée par la formule :

$$a = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sum (X - \bar{X})^2}$$

et calculée à l'aide d'un programme écrit à l'ordinateur et effectué par le logiciel MATLAB (MATrix in LABoratory).

Dans ces deux expressions :

a est exprimé en $\text{UFC.mL}^{-1}.\text{jour}^{-1}$

X = durée de stockage de l'eau (variable explicative) en jour

Y = abondance bactérienne (variable expliquée) en UFC.mL^{-1}

\bar{X} = moyenne des valeurs de X en jour

\bar{Y} = moyenne des valeurs de Y en UFC.mL^{-1}

b = valeur de Y (abondance bactérienne) avant stockage de l'eau (à J0) en UFC.mL^{-1}

3- RESULTATS ET DISCUSSION

Dans les eaux de sources aux jours de prélèvement, les valeurs de pH pour l'ensemble des points d'eau analysés et des campagnes effectuées ont oscillé entre 5,59 et 6,43 UC. En général, les variations avec les différentes campagnes effectuées ont été faibles. Les valeurs de conductivité

électrique et de teneurs en MES ont oscillé respectivement entre 102 et 304 $\mu\text{s/cm}$ et entre 0 et 22 mg/L (Fig. 2). Ces 2 variables ont plus changé dans l'espace que dans le temps. Les changements des caractéristiques physico-chimiques des eaux de puits aux jours de prélèvement (J0) ont aussi été observés dans l'espace. Le pH a en général oscillé entre 4,83 et 6,78 UC; quant à la conductivité électrique, ses limites inférieures et supérieures ont été de 82 et 583 $\mu\text{s/cm}$. Les MES sous forme de traces dans certains cas (puits P4) ont atteint une valeur de 24 mg/L au puits P3.

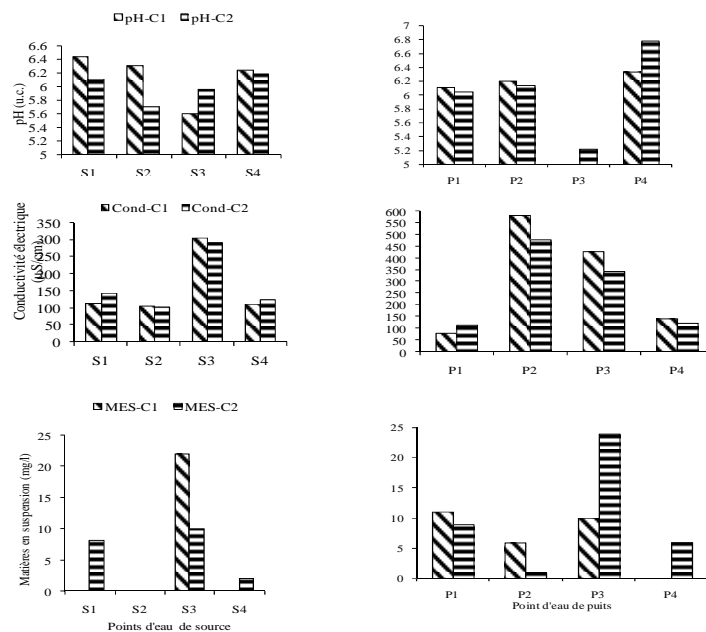


Figure 2: variation du pH, de la conductivité électrique et des matières en suspension dans les eaux de Sources et de celles de puits aux jours de prélèvement selon la campagne C1 et C2.

Les eaux des puits présentent une forte minéralisation et des teneurs en MES élevées par rapport aux eaux de sources, probablement à cause de leur plus grande vulnérabilité à la pollution (Nola *et al.*, 2002). Les fluctuations spatiales des valeurs de la conductivité électrique aux jours de prélèvement des eaux (J0), seraient liées aux variations spatiales de la solubilité des minéraux du sol et à l'importance des apports minéraux d'origine superficielle, résultant des activités anthropiques au-dessus du bassin versant des points d'eau (Niquette *et al.*, 2001). Alors que les valeurs de pH dépendent plus de la répartition spatiale que de la nature des points d'eau (source ou puits). Le pH des eaux analysées aux jours de prélèvement est acide. La nature acide des biotopes étudiés est celle du sol encaissant (Nola *et al.*, 1998).

Les abondances moyennes des staphylocoques aux jours de prélèvement (Fig. 3) ont varié de 4 à 73 UFC/100mL dans les eaux de sources, et de 2 à 550 UFC/100mL dans celles des puits. Les abondances moyennes d'entérobactéries à J0 ont atteint parfois 187 UFC/100ml dans les eaux

de sources et 1365 UFC/100ml dans les eaux de puits (figure 13). Les sources S₁, S₂ et S₃ sont caractérisées par les moyennes d'abondances d'entérobactéries élevées contrairement à la source S₄ où elles sont faibles. Pour les puits, les valeurs minimales d'abondances de ces bactéries ont été notées à P₃ (99 UFC/100 ml) et à P₄ (92 UFC/100 ml) et les maximales à P₁ (1365 UFC/ 100 ml) et à P₂ (466 UFC/100 ml).

Les abondances moyennes de BHAM ont fluctué de 79 à 528 UFC/ml dans les eaux des sources au jour de prélèvement (J0). Dans les puits, la valeur moyenne minimale d'abondances de BHAM au jour de prélèvement a été de 399 UFC/mL, alors que la valeur maximale a été de 1470 UFC/mL.

En général, les densités des micro-organismes des groupes de BHAM dans les eaux des puits aux jours de prélèvement paraissent relativement plus élevées que dans les eaux des sources. D'après Nola *et al.* (1998), les eaux souterraines de Yaoundé sont alimentées par une même nappe phréatique régionale ; la forte pollution des eaux de puits augmenterait lors de l'utilisation de ces eaux de puits par les populations. Dans les deux types de biotopes, ces abondances subissent d'importantes fluctuations spatio-temporelles. Cette variabilité a aussi été signalée par Nola *et al.* (1999) et est liée aux différentes densités de population humaine, aux profondeurs variables des latrines et aux fluctuations spatiales des propriétés physiques du sol de la région.

Les densités de BHAM augmentent en général régulièrement au cours du stockage, traduisant leur multiplication dans les conditions de stockage. Les BHAM sont constituées par des bactéries d'espèces présentant des adaptations très différentes aux variations des conditions du milieu. Les grandes variations de la teneur en gaz dissous peuvent entraîner chaque espèce bactérienne à développer des stratégies spécifiques de survie comprenant : l'acquisition des plasmides, les changements de voies métaboliques et les mutations génétiques (Barcina *et al.*, 1992 ; Pelmont, 1993). S'agissant des eaux provenant des sources, les abondances de BHAM enregistrées au cours du stockage en bidon ouvert ou fermé ont toujours été élevées par rapport à celles obtenues au jour du prélèvement (J0) (Fig. 3).

Les abondances des staphylocoques et des entérobactéries deviennent relativement faibles par rapport à celles des BHAM, après un stockage de 5 jours (Fig. 3). La diminution de ces abondances résulterait de la dormance de ces bactéries ou de la formation par elles des biofilms sur les parois des

réipients notée par Carpentier & Cerf (1993). Une fois installées en biofilm, ces bactéries seraient incapables d'utiliser les éléments nutritifs relargués lors de la lyse d'autres micro-organismes constitutifs du biofilm (Vernozy-Rozand *et al.*, 2002). Les pics d'abondance bactérienne notés aux divers jours de stockage d'eau seraient dus à la libération au hasard de ces micro-organismes de leur biofilm signalée par Carpentier & Cerf (1993). Dans la plupart des cas, le coefficient de corrélation r est négatif entre les abondances de staphylocoques et celles des BHAM quel que soit le type de milieu ($P=0,05$). Ce résultat indiquerait une compétitivité entre les bactéries des 2 groupes.

La dynamique d'abondance des Enterobacteriaceae et des staphylocoques isolés, dans la plupart des cas, peut être répartie en une phase de relative augmentation des effectifs ou de maintien, suivie d'une phase de relative diminution (Fig. 3). La première période s'apparente à une phase d'utilisation optimale des traces de matières organiques existantes dans l'eau par les bactéries hétérotrophes à des conditions de température assez favorables offertes par le stockage. Cette phase dure entre 2 à 4 jours de stockage pour certains échantillons et parfois au-delà pour d'autres. La deuxième phase s'apparente à une entrée en état de dormance des bactéries, et est visible à J5 ou J6, traduisant l'épuisement des nutriments dans le milieu, n'étant pas renouvelé. Dans l'ensemble, la dormance des staphylocoques et des Enterobacteriaceae semble plus précoce quand leurs abondances sont élevées à J0. Celles-ci augmentant les possibilités d'interactions négatives, par compétition pour les nutriments, entre les micro-organismes en présence. Ce constat se rapproche de celui de Jensen *et al.* (2002) pour qui, les faibles abondances bactériennes suggèrent la mort des bactéries dans le récipient. La disponibilité des nutriments et la prédation régulent l'activité et l'abondance des staphylocoques ainsi que la composition de la communauté bactérienne du milieu (Lebaron *et al.*, 2001)

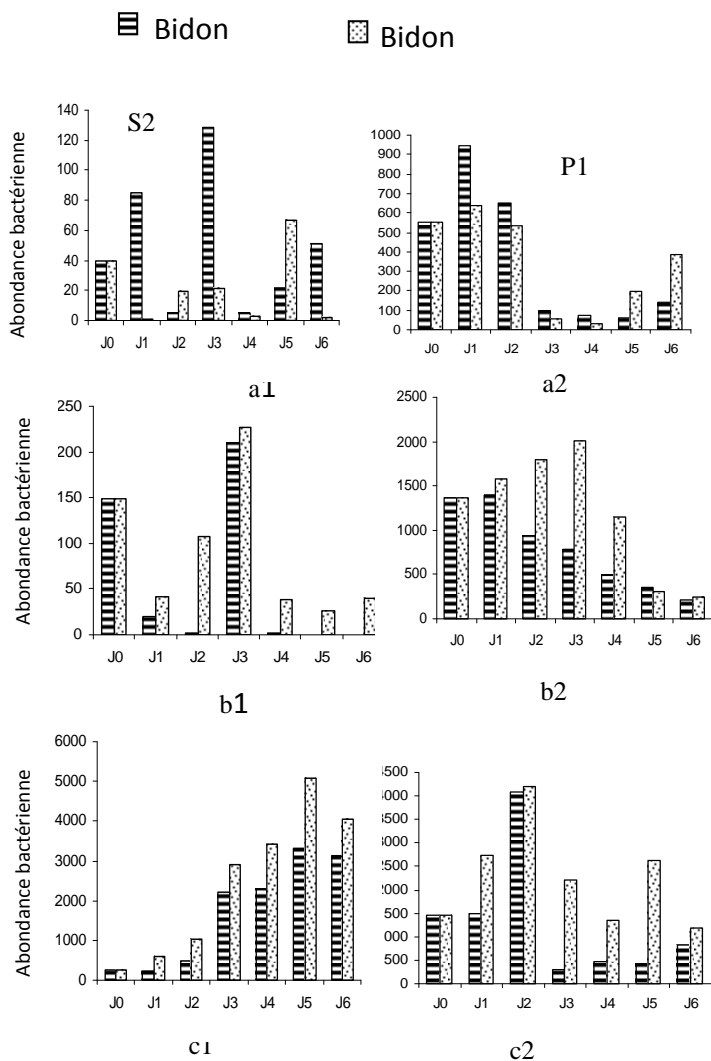


Figure 3. variations d'abondances moyennes des staphylocoques (a), des Enterobacteriaceae (b) et des BHAM (c) dans les eaux de sources (S2) et puits (P1) au cours du stockage en condition de bidon ouvert et fermé

Les taux de croissance et d'inhibition apparents des micro-organismes ont été calculés dans chaque cas, et sont présentés dans le tableau I. Il ressort que, le taux de croissance apparent est un chiffre positif, et le taux d'inhibition est un chiffre négatif. Il en résulte que les BHAM présentent une croissance nette ; l'inhibition n'ayant été observée en bidon ouvert que dans certains échantillons des puits P₁ et P₄. En bidon fermé, les BHAM se multiplient nettement dans les échantillons des eaux de toutes les sources, et dans les eaux des puits P₂, P₃ et P₄ (tableaux I). Peu de croissances nettes des staphylocoques ont été révélées dans les eaux de sources et de puits en bidon ouvert comme en bidon fermé. Le seul taux de croissance apparent des staphylocoques (0,14) a été observé dans les eaux de la source S₂, en bidon fermé. En bidon ouvert, les taux d'inhibition de croissance apparents des staphylocoques ont atteint, en valeur absolue, 13,77 dans les eaux de sources et 38,96 dans celles des puits. En bidon fermé, ils ont atteint jusqu'à 16,4

dans les eaux de sources et 66,22 dans les eaux de puits. Les taux de croissance apparents des BHAM dans les eaux de puits comme dans celles de sources ont été élevés et ont atteint 1931,1 (S₃).

Les taux de croissance de toutes les bactéries ont, en général, été plus élevés dans les eaux de puits que dans les eaux de sources. On en déduit que le stockage de l'eau pendant 144h, que ce soit en bidon ouvert ou en bidon fermé, entraîne une augmentation d'abondance des BHAM par rapport à celle des staphylocoques et des entérobactéries malgré quelques fluctuations marquées par des pics de croissance pendant ce stockage.

On remarque que les valeurs moyennes de pH dans les eaux stockées ont été en général plus élevées que celles des points d'eau d'origine. En effet, les valeurs moyennes de pH ont fluctué entre 5,90 et 6,43 en bidon fermé et entre 6,44 et 6,74 en bidon ouvert. Pour les eaux de puits, les valeurs de pH des eaux stockées en condition de bidon ouvert ont varié de 4,38 à 7,65 et de 4,69 à 6,98 en condition de bidon fermé. Les valeurs de l'écart-type à la moyenne du pH ont varié de 0,29 à 0,91 dans les eaux stockées en condition de bidon ouvert et de 0,14 à 0,45 dans celles conservées en condition de bidon fermé. En moyenne donc le pH des eaux de puits augmente pendant leur stockage plus faiblement en bidon fermé qu'en bidon ouvert comme dans le cas des sources ; ses valeurs moyennes et maximales étant plus importantes dans la seconde condition.

Tout comme le pH, la conductivité électrique et les concentrations des matières en suspension ont différencié d'un échantillon d'eau à un autre et suivant sa condition de stockage. On constate que du bidon ouvert au bidon fermé les minima de la conductivité électrique baissent alors que les maxima augmentent et l'écart-type s'amplifie.

L'augmentation de la minéralisation de l'eau pendant le stockage résulterait d'une forte activité minéralisatrice des microorganismes de l'eau. Les corrélations statistiquement significatives ($P < 0,01$ à $P < 0,05$) établies entre les abondances bactériennes et la conductivité électrique sont négatives ou positives dans les eaux de sources mais toutes positives dans les eaux de puits. Les valeurs positives suggèrent l'augmentation de la conductivité électrique avec l'activité minéralisatrice dans l'eau souterraine stockée par sommation de métabolisme individuel des bactéries qui augmentent en nombre, et la faible abondance dans cette eau des bactéries autotrophes signalée par Boutin (1993). Les valeurs négatives quant à elles pourraient s'expliquer par d'autres raisons. D'après Lebaron *et al.* (2001) la disponibilité des nutriments et la

prédation régulent l'activité et l'abondance des staphylocoques ainsi que la composition de la communauté bactérienne du milieu. Il a été indiqué que l'abondance cellulaire et les taux de production et d'activité sont déterminés par l'ensemble des conditions environnementales et trophiques du milieu (Gasol *et al.*, 2002). En général, les eaux des puits ont un degré de minéralisation et des teneurs en MES plus élevés que les eaux de sources. Bien que la corrélation significative entre les abondances de staphylocoques et le pH n'ait été obtenue que pour les eaux du puits P₃ (en bidon fermé uniquement), Mossel et Van Netten (1990) signalent que les staphylocoques se multiplient dans une gamme de pH comprise entre 4 et 9,3 avec un optimum autour de 7 et 7,5 (neutralité) favorisant la production d'enzymes et de toxines qui augmentent leur capacité de survie par compétition avec les autres microorganismes du milieu. L'augmentation du pH pendant le stockage des échantillons d'eau serait due à la libération dans le milieu des métabolites basiques par l'activité des microorganismes (Haslay et Leclerc, 1993).

La baisse des teneurs en MES dans les échantillons d'eau pendant le stockage peut en partie être liée à leur dépôt sur les parois des récipients, et en partie à leur dégradation par les bactéries présentes. L'augmentation des teneurs en matières en suspension par contre serait liée à la croissance bactérienne et à la libération spontanée des particules des biofilms dans l'eau. Des corrélations positives statistiquement significatives ont été établies entre les abondances bactériennes et les MES dans les échantillons d'eau du puits P₃. Selon Sherer *et al.* (1992), la remise en suspension des particules est généralement accompagnée de l'augmentation de l'abondance bactérienne dans le milieu.

Les fortes corrélations négatives enregistrées entre les variables bactériologiques traduiraient une compétition entre les microorganismes. Les fortes corrélations positives traduiraient une symbiose métabolique ou une libération des microorganismes des biofilms plurispécifiques. Dans

l'ensemble, la flore bactérienne de l'eau souterraine après stockage de plus de 5 jours s'appauvrit en bactéries des groupes de staphylocoques et d'Enterobacteriaceae. La compétition bactérienne pour les nutriments, la prédation et la formation des biofilms détermineraient donc la richesse spécifique et l'abondance microbienne dans chaque échantillon d'eau analysée au cours du stockage.

4- REFERENCES

- American Public Health Association (APHA). (1998). **Standard methods for the examination of water and waste water, 20th ed.** L.S. Clesceri, A.E. Greenberg, and A.D. Eaton, Eds. APHA, American Water Works Association and Water Environment Federation, Washington, D.C.
- Barcina, I., Gonzalez, J.M., Iriberry, J., & Egea, L. (1991). Role of the protozoa in the regulation of enteric bacteria populations in seawater. *Marine Microbial Food Webs*, 5(2) : 179-187.
- Boutin, C. (1993). L'eau des nappes phréatiques superficielles, une richesse naturelle vitale mais vulnérable : l'exemple des zones rurales du Maroc. *Sciences de l'eau*, 6 (3), 357 - 365.
- Carpentier, B. & Cerf, O. (1993). Biofilms and their consequences with particular references to hygiene in the food industry. *J. Appl. Bact.*, 75, 499-511.
- Gasol, J.M., Armengol, J., Comerma, M., Garcia, J-C., Casamayor, E.O., Kojecká, P., & Šimek, K (2002). A transplant experiment to identify the factors controlling bacterial abundance, activity, production and community composition in a eutrophic canyon-shaped reservoir. *Limnol. Oceanogr.* 47, 62-67.
- Hans, V.S. & Zwiery, W.F. (1999). Statistical analysis in climate research. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 484 p.
- Haslay, C. & leclerc, H. (1993). **Microbiologie des eaux d'alimentation**, technique et documentation-Lavoisier, Londres-Paris-New York
- Holt, J.G., Krieg, N.R., Sneath, P.H.A., Staley, J.T., & Williams, S.T. (2000). **Bergey's manual of determinative bacteriology, 9th ed.**, Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Jensen, P.K., Ensink, J.K.J., Gayathri Jayasinghe, Van der Hoek, W., Cairncross, J., & Dalsgaard, A. (2002). Domestic

- transmission routes of pathogens: the problem of in-house contamination of drinking water during storage in developing countries *Tropical Medicine and International Health*, 7(7), 604-609.
- Lebaron, P., Servais, P., Trousselier, M., Courties, C., Muyzer, G., Bernard, L., Schafer, H., Pukall, R., Stacktbrandt, E., Guindulain, T. & Vives-Rego, J. (2001). Microbial community dynamics in mediteranean nutrient-enriched sea water mesocosms : changes in abundances, activity and competition. *FEMS Microbiology Ecology*, 34, 255-266.
- Marchal, N., Bourdon, J.L., & Richard, C.L. (1991). **Les milieux de culture pour l'isolement et l'identification biochimique des bactéries**, DOIN éd. Paris.
- Mintz, E., Reiff, F., & Tauxe, R. (1995). Safe water treatment and storage in the home: a practical new strategy to prevent waterborne disease. *Jama*, 273, 948-953.
- Momba, M. N.B., & Notshe, T.L. (2003). The microbiological quality of groundwater-derived drinking water after long storage in household containers in rural community of South Africa. *Journal of water supply Research and Technology AQUA*, 52, 67 - 77.
- Mossel, D.& Van Netten, P. (1990). *Staphylococcus aureus* and related staphylococci in foods: ecology, proliferation, toxinogenesis, control and monitoring. *J. Appl. Bacteriol., Symp. Suppl.*, 123-145
- Niquette P., Servais, P. & Savoir, R. (2001). Bacterial Dynamics in the drinking water distribution system of Brussels. *Wat. Res.* 35, 675-682.
- Nola, M., Njiné, T., & Boutin, C. (1998). Variabilité de la qualité des eaux souterraines dans quelques stations de Yaoundé (Cameroun). *Mém. Biospéol.*, 25 183-191.
- Nola, M., Njiné, T., Monkiedjé, A., Tailliez, R. (1999). Approche colimétrique des eaux de la nappe phréatique superficielle de Yaoundé (Cameroun) *Microbiol. Hyg. Alim.*, 11, 9 - 14.
- Nola, M., Njiné, T., Djuikom, E., & Sikati, F.V. (2002). Faecal coliforms and faecal streptococci community in the underground water in an equatorial area in Cameroon (Central Africa): the importance of some environmental chemical factors. *Wat. Res.*, 36, 32 89 - 3297.
- Pelmont, J. (1993). **Bactéries et environnement. Adaptations physiologiques**. Presses universitaires de Grenoble éd. Collection Grenoble science.
- Rodier, J., (1996). **L'analyse de l'eau**, DUNOD, Paris.
- Santoir, C. (1995). La pédologie. In Santoir et Bopda, A. (Eds), Atlas régional Sud Cameroun. Paris : Document de l'ORSTOM et MINREST.
- Sherer, B. M., Miner, J. R., Moore, J. A. & Buckhouse, J. C. (1992). Indicator bacterial survival in stream sediments. *J. Environ. Qual.*, 21, 291-295.
- Suchel J.B. & Tsalefack M. (1995). **La climatologie. In Atlas régional Sud-Cameroun**. ORSTOM éd. Planche 3: 8-9.
- Vernozy-Rozand, C., Montet, M.P., & Ray-Gueniot (2002). Présence d'E. coli 0157 : H7 dans l'eau : un problème en santé publique. *Revue Méd. Vét.*, 153 (4), 235-242.
- Wéthé, J. (1999). **Urbanisation et protection de la source en eau: une approche par les systèmes d'information géographique (SIG) appliqués à Yaoundé-Cameroun**. Mémoire de fin d'étude de 3^e cycle, en vue de l'obtention du diplôme d'études professionnelles approfondies (DEPA), Université Senghor d'Alexandrie (Egypte).
- Wright, J., Gundry, S., & Ronan, C. (2004). Household drinking water in developing countries: a systematic review of microbiological contamination between source and point of use. *Tropical Medecine & International Health*, 9 (1), 106 - 117.