



Caractérisation Physicochimique et Chloration des Eaux de Puits Consommées dans la Ville de Brazzaville-Congo (Physicochemical Characterization and Chlorination of Well Water Consumed in Brazzaville- Congo)

Timoléon Andzi Barhé^{a*} and Fulbert Bouaka^b

^a. *Unité de Recherche Chimie (URCHI), Faculté des Sciences, Université des Sciences et Techniques de Masuku (USTM), BP : 941, Franceville-Gabon*

^b. *Laboratoire de Contrôle de Qualité de la Société Nationale de Distribution d'Eau (SNDE), Brazzaville – Congo*

Received 14 Nov 2012, Revised 11 May 2013, Accepted 11 May 2013

* Corresponding author. E mail: andzib@yahoo.fr

Résumé

La chloration est une méthode de désinfection largement répandue dans le traitement des eaux. Ce traitement vise à éliminer les micro-organismes pathogènes, bactéries, virus et parasites ainsi que la majorité des germes banals moins résistants. C'est le moyen de fournir une eau bactériologiquement potable. Le but de notre travail est de contrôler la qualité des eaux de puits consommées à Brazzaville (CONGO), par la détermination des caractéristiques physico-chimiques, dans une première étape, puis du break point dans une deuxième étape, afin de déterminer la dose optimale de chlore nécessaire à la désinfection de ces eaux.

Mots-clés : Eau de puits, Brazzaville -CONGO, Composition physicochimique, Chloration, Désinfection, qualité des eaux

Abstract

Chlorination is a disinfection method largely known in water treatment. This treatment aims to eliminate pathogenic micro-organisms, bacteria, viruses and parasites as well as the majority of pyogenic less resistant. This is the way to provide drinking water without bacterias. The aim of our work is to monitor the quality of well water consumed in Brazzaville (Congo), for the determination of the physicochemical characteristics, in a first step, then the break point in a second step to determine the optimal dose of chlorine needed to disinfect the water.

Keywords: well water, Brazzaville-Congo, physicochemical composition, chlorination, disinfection, water quality

1. Introduction

L'eau est le composé le plus abondant sur la surface du globe [1]. Sans elle, la vie comme nous le savons cesserait d'exister. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) estime à 1,5 milliards le nombre de personnes dans le monde ne disposant pas d'eau potable, à environ 30.000 le nombre de personne mourant chaque jour d'avoir bu une eau dangereuse ou de déshydratation et à 35% les gastro-entérites (GE) aiguës dues à des virus transmis par l'eau.

Ces quelques chiffres montrent l'importance des dangers pour la santé associés aux eaux, et la nécessité d'une évaluation des risques d'origine hydrique pour la définition de mesures préventives. Les eaux souterraines sont en principe les seules capables de fournir une eau naturellement pure.

C'est ainsi qu'à Brazzaville (CONGO), le réseau de distribution d'eau ne pouvant couvrir toute la ville, dans certains quartiers, les populations font recours à l'eau de puits pour satisfaire leurs besoins en eau potable. Cependant, ces ressources hydriques peuvent subir des contaminations physico-chimiques plus ou moins

importantes, provenant des effluents domestiques, des engrais agricoles et de certains établissements industriels. Ce qui pose un problème urgent, menaçant leur qualité. D'où la nécessité d'un traitement adapté avant leur utilisation.

L'objectif de notre travail est de décrire et de quantifier la pollution minérale et organique de ces eaux et proposer un traitement physico-chimique, en déterminant leur taux de traitement à l'hydroxyde de Calcium $\text{Ca}(\text{OH})_2$ et à l'hypochlorite de calcium $\text{Ca}(\text{ClO})_2$, respectivement pour la correction du pH et la désinfection (Chloration).

Nos essais en laboratoire ont pour but d'apprécier la qualité physico-chimique de trois puits d'eau de Brazzaville par la détermination des paramètres minéraux et organiques, puis par la contribution à la mise en place des conditions nécessaires à leur potabilisation.

2. Matériels et Méthodes

2.1. Echantillonnage

Trois échantillons d'eaux de puits très consommées dans la ville, ont été prélevés dans trois quartier différents. Les prélèvements se font à une profondeur de 50 cm de la surface de l'eau, en évitant la pénétration de l'air.

Le transport des échantillons depuis le point de prélèvement jusqu'au laboratoire se fait dans une glacière à 4°C. Lorsque les échantillons sont conservés, ils sont mis au réfrigérateur. Avant de procéder aux opérations analytiques, il est essentiel que toutes les dispositions soient prises, telles que l'homogénéisation au moment du dosage.

2.2. Méthodes de dosage

- Les éléments minéraux et les matières en suspension (MES) ont été dosés par colorimétrie à l'aide d'un colorimètre de type COLORIMETRE DR/890 et de marque HACH Be Right 48471-94.
- Le pH et la température ont été mesurés à l'aide du pH-mètre HANNA Hi 991001.
- La conductimétrie et la quantité de solide dissous (TDS) ont été mesurées à l'aide du conductimètre WTW, Cond. 340i de marque HACH.
- Le Turbidimètre ELAMOTTE 2020e a servi à la détermination de la turbidité. L'ensemble des résultats des analyses est comparé au Normes OMS [1], afin de déterminer les écarts et les corriger par des essais de désinfection.

2.3. Correction du pH à l'hydroxyde de Calcium ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)

100 ml d'échantillon sont prélevés dans un bécher de 250 ml. On ajoute dans le bécher une pincée de Carbonate de Calcium (CaCO_3). Après agitation, on laisse reposer le mélange pendant 15 minutes, puis on mesure le pH du mélange pour déterminer le pH d'équilibre.

On dispose ensuite de 6 béchers de 250 ml contenant chacun 100 ml de l'échantillon. On ajoute dans chaque bécher, les volumes croissants d'hydroxyde de Calcium ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) à 10 g/L. Après agitation, on laisse reposer ces béchers pendant 15 minutes, puis on mesure le pH dans chaque bécher. Le bécher qui aura un pH proche du pH d'équilibre nous permettra la détermination du taux de traitement.

2.4. Désinfection à hypochlorite de calcium ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$)

On dispose de 10 béchers de 150 ml contenant chacun 100 ml d'échantillon. Dans chaque bécher, on ajoute les volumes croissants d'une solution d'hypochlorite de Calcium à 10 g/L. On agite, puis on laisse reposer pendant 30 minutes.

Après les 30 minutes, par la méthode colorimétrique, on mesure le chlore total et le chlore résiduel pour chaque bécher en utilisant le DPD (N, N, diéthyl phényl diamine) comme réactif. Le DPD en présence d'un échantillon chloré donne une coloration rouge.

Connaissant les valeurs du chlore total et du chlore résiduel, on trace la courbe de désinfection du chlore résiduel en fonction du chlore total afin de déterminer le taux de traitement en $\text{Ca}(\text{ClO})_2$. Ce taux de traitement correspond à un point minimum de la courbe appelé : Point de rupture ou break-point.

3. Résultats et discussion

3.1. Qualité physico chimique des eaux testées

Le tableau 1 récapitule les valeurs des paramètres caractéristiques de la qualité physique et de la composition en matières organiques des trois puits analysés. Sachant que la composition des eaux peut avoir une incidence sur la composition des sous produit formés lors de sa désinfection [2], on peut observer que le pH des trois puits ne

respecte pas les normes OMS [3]. Ce sont donc des eaux acides et très agressives pour l'estomac. Cette acidité peut être responsable de la formation des acides Trichloroacétique (HAAs) [4] lors de la désinfection par chloration.

Par ailleurs, exceptée l'eau du puits P1, l'eau des puits P2 et P3 est très trouble, ce qui est caractérisé par les valeurs de turbidité supérieures aux normes OMS [3] requises pour une eau potable. Cette turbidité est due à la forte concentration en matières solides dissoutes (TDS) et en matières organiques en suspension (MES), particulièrement pour l'eau du puits P2 qui a une concentration de 38 mg/L.

Cependant, on remarque que l'eau du puits P1 qui semble homogène, présente quand même une forte concentration en matières solide dissoutes (TDS), ce qui laisse suggérer que les matières organiques en suspension sont en partie responsable de la forte turbidité des eaux des puits P2 et P3. Ce qui peut conduire à une augmentation non négligeable des doses de chlore lors du traitement de ces eaux. Ceci peut ainsi entraîner une production substantielle de composés organohalogénés [5-7], car le chlore réagit avec la matière organique contenue dans l'eau, même lorsque celle-ci est faible (5 mg/L) [8].

Les matières organiques présentes dans ces eaux pourraient être d'origine naturelle (activité biologique des milieux hydriques : décomposition des végétaux ou des microorganismes, etc...), ou être liés à la pollution domestiques. La présence de matière organique dans ces eaux est un indicateur indirect du risque microbiologique et peut poser deux types de problèmes :

- Elle peut réagir avec les produits de la désinfection de l'eau (en particulier le chlore) et former des sous produits indésirables tels que les TriHaloMéthanes (THM) [9,10] ou à l'origine du mauvais gout de l'eau.
- Elle peut initier des problèmes de prolifération bactérienne. De plus, les résultats montrent que les conductivités enregistrées sont assez fortes, bien que inférieure aux normes OMS [3]. Ce qui correspond à une forte minéralisation de ces eaux.

Tableau 1 : Paramètres Caractéristiques de l'Aspect Physique et de la Matière Organique des Eaux Testées

Paramètres	Unités	Puits P1	Puits P2	Puits P3	Normes O.M.S
pH	-	5,92	6,00	5,45	6,5 - 9,00
Température	°C	20	20	20	12 – 30
Turbidité T	NTU	4,33	28,2	5,59	5
Couleur	mg/L Pt-Co	2,5	10	7,5	15
Odeur	-	Pourri	Pourri	Pourri	Sans
Saveur	-	-	-	-	Sans
Aspect	-	Homogène	Trouble	Trouble	-
Potentiel Redox	mV	376,32	425,62	276,86	-
T.D.S (total de solide dissous)	mg/L	370,72	471,62	358,55	-
Conductivité	µs/cm	82,3	1047	796	-
Résistivité	Ω cm	1215,06	955,10	1256,28	-
Matières en suspension (M.E.S)	mg/L	1	38	3	< 1
Minéralisation générale	mg/L	589,20	794,19	569,87	< 600

La mauvaise qualité de ces eaux est confirmée par les résultats du tableau 2, car il apparait des fortes quantités d'ions Ammonium (NH₄⁺), Nitrites (NO₂⁻) et Nitrates (NO₃⁻). Ce qui reconforte l'hypothèse de la pollution de ces eaux par les rejets urbains [11, 12]. En effet, l'ingestion des nitrates est un facteur de risque potentiel avéré pour la santé. Ils sont réduits en nitrites, qui se fixent sur l'hémoglobine à la place de l'oxygène et provoquent des difficultés respiratoires (asphyxie) : C'est la méthémoglobinémie (cyanose) [3, 13-15] qui touche essentiellement les nourrissons (nés ou en gestation) et présente un risque à court termes.

Chez l'adulte, les nitrates seraient transformés en nitrites au niveau de la cavité buccale, puis en nitrosamines et autres composés nitrosés au niveau de l'estomac.

Lors de la chloration, les composés azotés pourraient réagir avec le chlore, pour former des composés monochloroaminés [16]. Ils peuvent aussi être responsables de la mauvaise odeur des eaux, par la formation des aminoacides [17].

Tableau 2 : Paramètres Caractéristiques de l'Azote Minéral des Eaux

Paramètres	Unités	Puits P1	Puits P2	Puits P3	Normes O.M.S
Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/L	4,25	10,27	1,47	0,5
Nitrites (NO ₂ ⁻)	mg/L	1,12	2,072	1,05	0,1
Nitrates (NO ₃ ⁻)	mg/L	47,70	118,98	101,57	50

L'analyse de l'alcalinité donne des valeurs de titre alcalimétrique complet (TAC) et de Titre Hydrotimétrique (TH) très élevées. Ce qui suggère que ces eaux contiennent des ions carbonates et hydrocarbonates libres, de même que des fortes quantités d'ions Calcium (Tableau 3). Ces résultats confirment le caractère minéralisé, agressive et dure de ces eaux. Ce qui peut être à l'origine de la production, par élévation de température, à un précipité de bicarbonate de calcium (Ca(HCO₃)₂) ou tartre.

Tableau 3 : Alcalinité et Eléments Fondamentaux des Eaux

Paramètres	Unités	Puits P1	Puits P2	Puits P3	Normes O.M.S
T.A	mg /L CaCO ₃	0,00	0,00	0,00	50
T.A.C	mg /L CaCO ₃	140	487,50	200	100
T.Ht	mg/L CaCO ₃	230	712,50	391,66	150
Calcium (Ca ²⁺)	mg/L	92	285	156,66	70
Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	mg/L	170,8	594,75	244	200

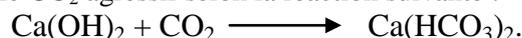
Les ions métalliques et non métalliques (Tableau 4) présentent des concentrations nettement plus élevées que les normes OMS, en Magnésium, potassium, phosphates, et Silice, pour le puits P2 ; en Silice pour le puits P1 et en phosphate et Sulfure pour le puits P3. Ces concentrations résultent généralement de la nature des terrains traversés ou de la pollution industrielles ou domestiques. Leur concentration dans l'eau dépend essentiellement de leur solubilité. Cependant, ils peuvent influencer la qualité organoleptique de l'eau (aspect, couleur, gout...).

Tableau 4 : Anions et Cations Métalliques et Non Métalliques

Paramètres	Unités	Puits P1	Puits P2	Puits P3	Normes O.M.S
Magnésium (Mg ²⁺)	mg/L	2,3	71,25	39,16	50
Cuivre (Cu ²⁺)	mg/L	0,002	0,00	0,00	1,00
Potassium (K ⁺)	mg/L	5,62	17,71	7,47	12
Sodium (Na ⁺)	mg/L	17,37	46,26	20,72	150
Phosphates (PO ₄ ³⁻)	mg/L	3,76	14,36	6,51	5
Sulfates (SO ₄ ²⁻)	mg/L	2,78	34,189	33,85	250
Sulfures (S ²⁻)	mg/L	0,09	0,076	0,16	0,1
Chlorures Cl ⁻	mg/L	46,25	91,52	52,22	200
Fer total (Fe)	mg/L	0,002	0,00	0,00	0,2
Silice (SiO ₂)	mg/L	13,22	17,24	10,48	12

3.2. Correction du pH

Les eaux des puits P1, P2, et P3 étant agressives, nous avons corrigé leur pH par utilisation de la chaux (Ca(OH)₂). Ce réactif réagit avec le CO₂ agressif selon la réaction suivante :



L'injection de Ca(OH)₂ étant fonction du pH à l'équilibre (pHs), le tableau 5, donnent les pH à l'équilibre des trois puits analysés.

Les taux de traitement à la chaux à 10 g/L ont permis d'obtenir, pour les trois puits, les résultats rassemblés dans le tableau 6. Au vu de ce tableau, on peut constater que la correction du puits P1 se fait à pH = 6,85 pour un taux de Ca(OH)₂ de 10 mg/L, celui du puits P2 à pH = 7,08 pour un taux de traitement de 5 mg/L et enfin l'eau du puits P3 est corrigée à pH = 7,35 pour un taux de traitement au Ca(OH)₂ de 12,5 mg/L. On remarque

que l'eau du puits P2 à une demande en Chaux plus faible que celle des Puits P1 et P3 alors que son pH équilibre est supérieur à celui du Puits P1.

Tableau 5 : pH à l'Equilibre des Trois Puits

	Puits P1	Puits P2	Puits P3
pH initial	5,92	6,00	5,45
pH équilibre (pHs)	6,87	7,11	7,41

Cela suggère que la demande en chaux n'est pas seulement conditionnée par le pH, mais aussi par la composition chimique de l'eau et la présence de nombreuses réactions compétitives qui se réalisent lors de ce traitement.

Tableau 6 : Taux de Traitement des Eaux de Puits Testées à la Chaux

	Puits P1	Puits P2	Puits P3
pH équilibre (pHs)	6,87	7,11	7,41
pH traitement (pHt)	6,85	7,08	7,35
Taux de traitement en mg/L de Ca(OH) ₂	10	5	12,5

3.3. Essai de désinfection

Dans le but d'éliminer les organismes pathogènes et maintenir la qualité de l'eau, nous avons soumis nos échantillons à un traitement à l'hypochlorite de Calcium (Ca(ClO)₂). Il est bien connu que la chloration a pour objectif l'élimination des germes pathogènes, l'oxydation de la matière organique et de quelques éléments minéraux, mais également le maintien d'un résiduel désinfectant capable d'assurer la protection microbiologiques de l'eau [18,19,20].

La désinfection se fait en milieu acide. Les agents désinfectants sont l'acide hypochloreux (HClO) et l'ion hypochlorite (ClO⁻). Leur distribution dans la solution dépend du pH [21]. Le tableau 7 récapitule les taux de chlore total et de chlore résiduel en fonction du pH pour chaque puits. On remarque que pour chaque puits testé, le taux de chlore résiduel augmente avec le pH [7]. Ce qui peut suggérer une augmentation de la formation des THMs et HAAs [22, 23].

Tableau 7 : Taux de désinfection des eaux de puits testées au Ca(ClO)₂

Béchers 100 ml	Puits P1			Puits P2			Puits P3		
	Chlore total (mg/L)	Chlore résiduel (mg/L)	pH	Chlore total (mg/L)	Chlore résiduel (mg/L)	pH	Chlore total (mg/L)	Chlore résiduel (mg/L)	pH
1	1	0,12	5,96	0,8	0,07	6,07	1,2	0,16	5,51
2	1,4	0,19	5,98	1,2	0,15	6,14	1,6	0,22	0,57
3	1,8	0,21	6,04	1,9	0,21	6,18	1,9	0,28	5,72
4	2,2	0,36	6,12	2,3	0,25	6,20	2,1	0,37	6,11
5	2,8	0,47	6,17	2,7	0,32	6,23	2,5	0,48	6,19
6	3,2	0,30	6,25	3	0,43	6,27	2,8	0,35	6,27
7	3,5	0,27	6,48	3,5	0,25	6,36	3	0,47	6,30
8	3,8	0,52	6,51	3,9	0,22	6,42	3,5	0,56	6,38
9	4,4	0,65	6,63	4,4	0,64	6,45	3,9	0,63	6,42
10	5	0,79	7,06	4,7	0,72	6,50	4,3	0,73	6,45

Par la méthode de la chloration au point critique ou break point [24], nous avons déterminé le taux de traitement des eaux de puits P1, P2 et P3 par le Ca(ClO)₂, par la recherche du point critique sur les courbes représentant le taux de chlore résiduel en fonction du taux de chlore total injecté.

La figure 1 donne les points critiques pour les eaux des puits P1, P2 et P3 analysés. Dans le tableau 8, sont consignés les concentrations en chlore résiduel et total, le pH, et le taux de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$, au point critique, pour chaque puits. Il apparait que les taux de chlore total et de chlore résiduel sont différents pour chaque eau testée.

Tableau 8 : Taux de Chlore total et résiduel des eaux de puits testées

	Puits P1	Puits P2	Puits P3
Chlore résiduel (mg/L)	0,27	0,22	0,35
Chlore total (mg/L)	3,5	3,9	2,8
Taux de traitement au $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ en mg/L	3,5	3,9	2,8
pH	6,48	6,42	6,27

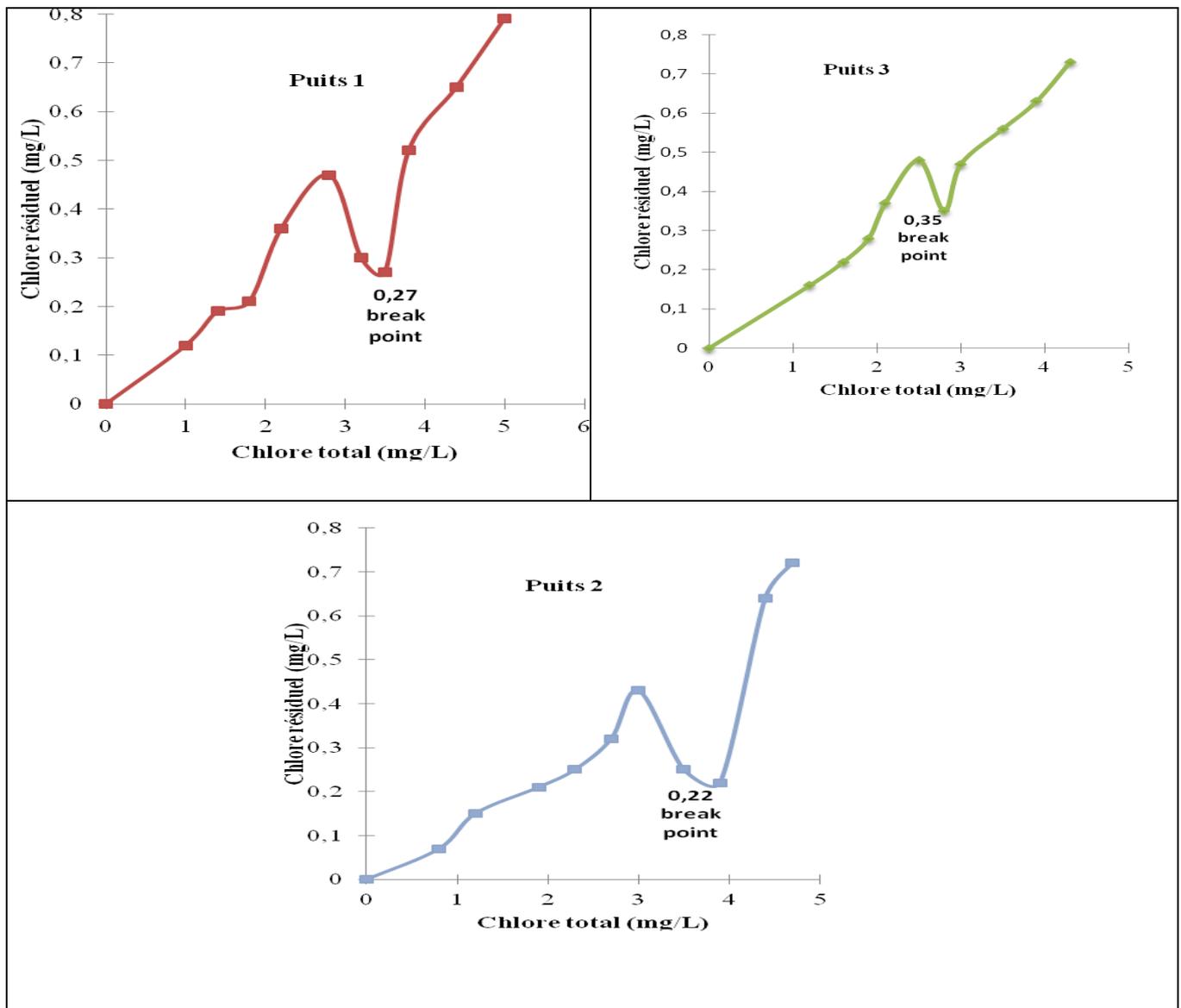


Figure 1 : Chlore résiduel en fonction du chlore totale des trois (3) puits testés

On observe que la demande en Chlore des eaux du puits P2 (3,9 mg/L) est supérieure à celle des puits P1 (3,5 mg/L) et P2 (2,8 mg/L), alors que son taux de chlore résiduel est le plus faible (0,22 mg/L) et très proche des normes de 0,1 à 0,2 mg/L de chlore résiduel au robinet après désinfection [18, 25].

Cette forte demande en chlore des eaux du puits P2 peut être justifiée par sa forte composition en matières organiques (Tableau 1) qui peuvent réagir avec le chlore et former des produits organohalogénés, qui ne peuvent pas être éliminés par simple désinfection.

Cependant, ces composés présentent des risques de toxicité à long terme (effets mutagènes et/ou cancérogènes) [20, 26, 27]. De plus, le schéma de réaction du chlore avec les constituants de l'eau peut encore se compliquer lorsque certains éléments métalliques tels que le fer, le manganèse et l'aluminium sont présents dans l'eau.

Ces métaux sont soit en solution, soit combinés à d'autres substances chimiques [19, 28]. Les formes solubles du fer et du manganèse sont souvent transformés en précipités [29]. Ceci peut expliquer la différence de demande en chlore entre les eaux du puits P3 et celles du puits P1. Car on note une faible présence des ions ferreux (tableau 4) dans les eaux du puits P1, ainsi qu'une minéralisation totale supérieure à celle des eaux du puits P3.

De même que la quantité élevée des ions sulfate dans les eaux du puits P3, peut laisser présager une diminution des consommations en chlore [26].

Par ailleurs, les doses de chlore résiduel obtenues, supérieures à la norme, prouvent que la simple désinfection ne suffit pas pour les rendre potable.

La désinfection pourrait donc être suivie d'une déchloration, par le bisulfite de sodium, pour neutraliser l'excès de chlore résiduel, ou encore laisser reposer les récipients d'eau ouvert, pendant un moment, avant la consommation pour laisser évaporer l'excès de chlore, surtout pour les eaux provenant des puits P1 et P3.

L'incidence de cette surchloration est l'apparition dans les eaux d'un goût désagréable et la formation de composés toxiques tels que les trihalométhanes (T.H.M) [27, 30].

Conclusion

L'analyse physicochimiques des eaux de puits consommées à Brazzaville a montré que ces eaux sont de mauvaise qualité et susceptible d'être à l'origine de maladies hydriques. Pour les eaux des trois puits testés, il est apparu que ces eaux ne respectent pas les normes OMS nécessaires à la potabilisation d'une eau.

On note la présence d'une pollution organique et minérale. Cette pollution serait d'origine naturelle (composition des sols), mais aussi d'origine exogène. Ce sont des eaux troubles, agressives, d'odeurs pourri, dure et très minéralisées. Ainsi, une désinfection est nécessaire avant leur consommation.

Les essais de désinfection réalisés avec l'hypochlorite de calcium ont montré que ces eaux sont très consommatrices de chlore, à cause de leur forte composition en matière organique et minérale.

Les taux de chlore résiduel obtenus montrent que les eaux de ces trois puits testées sont susceptibles de former des composés organohalogénés après traitement par le chlore, et nécessite un traitement plus poussé avant leur consommation.

Remerciements

Nous remercions le Laboratoire d'Analyse et de Contrôle de la Société Nationale de Distribution d'Eau (SNDE) du CONGO – Brazzaville pour nous avoir permis de réaliser cette étude.

Références

1. Eisenberg D., Kazman W., (1969) Oxford University Press, New York and London.
2. Brosillon S., Lemasle M., Renault E., Tozza D., Heim V., Laplanche A., *Chemosphere* 77 (2009) 1035
3. O.M.S. Normes Internationales applicables à l'eau de boisson. (1972). Genève
4. Reckhow D. A, Singer P. C., (1985). Eds. Jolley R.I., Jacob V. A., vol. 5, Chelsea, MI. Chapter 96.
5. Von Gunten U., Driedger A., Gallard H., Salhi E., *Water Res.* 35 (8) (2001) 2095.
6. Siddiqui M., Amy G.L., Ryan J., Odem W., *Water Res.* 34 (13) (2000) 3355.
7. Lu J., Zhang T., Ma J., Chen Z., *Journal of Hazardous Materials* 162 (2009) 140.
8. Urbansky, E.T., Magnuson, M.L., *Anal. Chem.* 74 (2002) 260A.
9. Rook J. J., *Water Treatment and Examination*, 23 (2) (1974) 234.
10. Krasner S. W., McQuire M. J., Jacangelo J. C., Patania N. L., Reagan K. M., Aietta E. M., *Journal of American Water Works Association*, 81(8) (1989) 41.
11. Lin S.H., Wu C.L., *Water Res.* 30 (8) (1996) 1851.
12. Sihrimali M.K., Singh P., *Environ. Pollut.* 112 (2001) 351.

13. Arden T.V., *New World Water*. (1994) 59.
14. Ozturk N., Bektas T.E., *J. Hazard. Mater.* 112 (2004) 155B.
15. OMS. Directives de qualité pour l'eau de boisson (2004). Genève
16. Duirk S.E., Gombert B., Croue J. P., Valentine R. L., *Water Res.* 39 (14) (2005) 3418.
17. Hureiki L., Croue J. P., Legube B., *Water Res.* 28 (1994) 2521.
18. Cardot C., Ed. Ellipse. Paris, (1999). France, ISBN 978-2-7298-5981-7, 256p.
19. Dore M., Ed. Tech. et Doc. Lavoisier, Paris, (1989). France. ISBN 2-85206-562-2, 528p.
20. Harrat N., Achour S., *Larhyss Journal*, 8 (2010) 47.
21. Liu S., Zhu Z., Qiu Y., Zhao J., *Journal of Environmental Sciences*. 23 (5) (2011) 765.
22. Miller J.W., Uden P.C., *Environ. Sci. Technol.* 17 (3) (1983) 150.
23. Arora H., LeChevallier M.W., Dixon K. L., *J. Am. Water Works Assoc.* 89 (6) (1997) 60.
24. Tracol R., DRASS basse Normandie, Guide Technique (2003), France. 123p.
25. Guergazi S., Achour S., *Larhyss Journal*. 4 (2005) 119.
26. Achour S., Guergazi S., Guersbaya N., Serghairi N., Youcef L., *Larhyss Journal*. 1 (2002) 108.
27. Le Curieux F., Marzin D., Erb F., *Rev. Sc. Eau*. 9 (1996) 75.
28. Knock W. R., Van Benschoten J. E., Kearney M., Reckhow D. A., *Ed. AWWA Res. Foundation*. (1990) 132.
29. Legube B., Guide Techniques de l'eau de Loire – Bretagne, (1996), France. 198p.
30. Yang X., Shang C., Westerhoff P., *Water Research*, 41(6) (2007) 1193.

(2013); <http://www.jmaterenvirosci.com>