

Qualité physicochimique de différentes eaux minérales naturelles commercialisées au Sénégal : une étude pilote

**Serigne Omar SARR^{1*}, Cheikh DIOP², Amadou DIOP¹, Rokhaya GUEYE¹,
Khadidiatou THIAM¹, Christelle Ange WAFFO TCHOUNGA¹, Thierno Mouhamed WANE¹,
Ousmane NIASS¹, Bara NDIAYE¹ et Yérém Mbagnick DIOP¹**

¹ *Laboratoire de Chimie Analytique et de Bromatologie, Université Cheikh Anta DIOP de Dakar,
BP 5005, Dakar Fann, Sénégal*

² *Laboratoire de Toxicologie et Hydrologie, Université Cheikh Anta DIOP de Dakar,
BP 5005, Dakar Fann, Sénégal*

* Correspondance, courriel : serigne.sarr@ucad.edu.sn

Résumé

Les eaux minérales naturelles sont caractérisées par leur pureté originelle et leur stabilité physicochimique mais elles peuvent être exposées lors du processus d'embouteillage à des risques susceptibles de dégrader sa qualité originelle d'où la nécessité de surveiller leur qualité. C'est dans ce sens que s'inscrit cette étude qui porte sur le marché des eaux minérales naturelles commercialisées au Sénégal. L'objectif est de contrôler la qualité physicochimique de l'eau par une vérification de la stabilité des éléments minéraux lors du stockage et de la conformité de l'étiquette avec la composition réelle de l'eau minérale. Pour ce faire, douze marques d'eaux minérales naturelles commercialisées au Sénégal dont trois d'origine locale et neuf importées ont été étudiées. Pour chaque marque, trois échantillons ont été prélevés. Les analyses des anions et des cations ont été réalisées par chromatographie ionique. La détermination des résidus secs est faite selon la méthode normalisée NF T90-029. Les résultats montrent que 75 % des marques ont un pH supérieur à 7 et seules trois des eaux étudiées ont présenté une forte minéralisation (résidu sec > 1000 mg.L⁻¹). Les concentrations en minéraux des eaux indiquent que les marques Hepar, Badoit et Vichy St-Yorre sont respectivement classées sulfatée calcique, carbonatée calcique et carbonatée sodique. Les marques Kirène, Volvic, Evian, Pierval et Vittel sont quant à elles classées pauvre en sodium (Na⁺ < 20 mg.L⁻¹). Seule une marque a présenté des teneurs en nitrates qui dépassent les normes sénégalaises. La comparaison des concentrations mesurées aux valeurs indiquées sur l'étiquette des bouteilles d'eau minérale pour chaque marque montre que la majorité des eaux analysées a présenté des variations significatives de leurs teneurs vis à vis de celles indiquées sur l'étiquette de la bouteille.

Mots-clés : *eau minérale, stabilité, contrôle, composition chimique, étiquetage.*

Abstract

Physicochemical quality of various natural mineral water commercialized in Senegal : a pilot study

Natural mineral waters are characterized by their original purity and physico-chemical stability but may be exposed during the bottling process to risks that could degrade its original quality, hence the need to monitor their quality. It is in this context that this study was conducted on the market of natural mineral water sold in Senegal. The objective was to control the physico-chemical quality of the water by a verification of the stability of mineral components during storage and compliance of the label with the actual composition of the mineral water. For this, twelve of natural mineral water brands marketed in Senegal, three locally sourced and nine imported were studied. For each brand, three samples were taken. Analyses of anions and cations were carried out by ionic chromatography. Determination of dry residue is made according to the standard method NF T90-029. The results showed that 75 % of brands had a pH greater than 7 and only three of the studied waters showed strong mineralization (dry residue $> 1000 \text{ mg.L}^{-1}$). Waters mineral concentrations indicated that Hepar, Badoit and Vichy St-Yorre brands were classified respectively calcium sulphate, calcium carbonate and sodium carbonate. The Kirène, Volvic, Evian, Vittel and Pierval brands are classified low in sodium ($\text{Na}^+ < 20 \text{ mg L}^{-1}$). Only one brand presented nitrate levels that exceeded the Senegalese standards. The comparison of measured concentrations with the values indicated on the label of bottled water for each brand showed that the majority of the analyzed waters presented significant variations in their levels with respect to those indicated on the bottle label.

Keywords : *mineral water, stability, control, chemical composition, labelling.*

1. Introduction

Il y a plusieurs milliards d'années, l'eau recouvrait la quasi- totalité de la planète. C'est au milieu de cette eau que se sont constituées les premières cellules vivantes qui sont à l'origine de toutes les matières vivantes : les végétaux, les animaux et les hommes. Cette origine atteste l'étroite dépendance de toute vie sur terre à l'eau. L'eau intervient dans la préparation de nombreux produits, dans l'hygiène, dans l'extinction des incendies. A cela s'ajoutent les utilisations d'ordre économique telle que l'industrie, l'agriculture, la navigation, l'énergie [1]. La totalité de l'eau contenue sur terre est estimée à 1 400 millions de km^3 . Cela paraît considérable mais il convient de relativiser car l'eau douce ne représente que 3 %. En effet, les quantités d'eau nécessaires sont énormes entraînant un épuisement rapide des nappes d'où le recours par l'homme aux eaux de surface qui sont souvent de mauvaise qualité [2]. Selon l'OMS, ce sont 15 millions d'êtres humains qui meurent chaque année après avoir bu de l'eau non potable, ou faute de ne pas en avoir accès [3]. Et face à des facteurs comme l'accroissement démographique et la relative rareté des eaux de pluie dans certaines zones, les ressources en eaux alimentaires de bonne qualité se font de plus en plus rares. Pour toutes ces raisons, les habitudes de consommation d'eau sont entrain de changer. L'industrie des eaux minérales connaît aujourd'hui un essor fulgurant, en raison de l'accroissement de la demande aussi bien dans les pays du nord que du sud [4 - 6]. La dénomination officielle des eaux exploitées dans ces industries est l'eau minérale naturelle, celle existant pour les eaux embouteillées. Ces eaux doivent avoir des propriétés favorables à la santé. Ce n'est donc pas la composition minérale qui détermine son classement comme eau minérale mais ses effets thérapeutiques [7].

La pureté est une qualité essentielle pour les eaux minérales naturelles. De par leur origine profonde et la température élevée à ces profondeurs, les eaux minérales sont à l'abri de la pollution. En effet, l'une des caractéristiques principales des eaux minérales naturelles est la stabilité de sa composition chimique. Par ailleurs, il a été noté que l'eau minérale naturelle peut être exposée lors du processus d'embouteillage à des risques susceptibles de dégrader sa qualité originelle [8-9]. Il s'avère donc nécessaire de surveiller la qualité de l'eau minérale naturelle commercialisée par le biais des contrôles physicochimiques et microbiologiques. Cette surveillance vise à vérifier la stabilité de la composition minérale et à s'assurer qu'aucune pollution accidentelle n'est survenue. C'est dans ce sens que s'inscrit notre étude qui porte sur le marché des eaux minérales naturelles au Sénégal, avec comme objectif de contribuer à une meilleure connaissance de la qualité et de la conformité de l'étiquette avec la composition réelle de l'eau minérale.

2. Matériel et méthodes

2-1. Echantillonnage

De par la démographie importante de la région de Dakar (25 % de la population nationale) et le pouvoir d'achat relativement élevé de sa population par rapport aux autres régions [10], notre étude a été exclusivement effectuée dans cette partie du Sénégal. L'échantillonnage des différentes marques d'eau minérale (trois échantillons par marque) a été réalisé durant la période de Mai à Juillet 2012 après achat de chaque échantillon au niveau de différents points de vente de Dakar (marché, supermarché, station de service et boutique) selon la disponibilité de la marque sur chaque point de vente. Ce travail a porté sur 12 marques d'eau minérale réparties comme suit :

- ✓ 03 marques d'eaux minérales d'origine locale (Kirène, Safy, Fontaine)
- ✓ 09 marques d'eaux minérales importées (Volvic, Evian, Badoit, Pierval, Vittel, Casino Mont-Blanc, Cristaline, Vichy St-yorre, Hepar).

Ont été incluses dans l'étude toutes les eaux embouteillées ayant la dénomination « Eau minérale naturelle » sur leur étiquette et sont exclues les eaux conditionnées en sachets ainsi que les eaux en bouteilles ayant une dénomination autre que « Eau minérale naturelle ».

2-2. Techniques analytiques

Les paramètres classiques tels que la conductivité et le pH sont déterminés sur les échantillons d'eau par mesure directe respectivement à l'aide d'un conductimètre et d'un pH-mètre METTLER TOLEDO 355. La détermination des résidus secs à 180 °C est effectuée selon la méthode standardisée NF T90-029 [11]. Les ions bicarbonates sont déterminés par titrimétrie à l'aide d'une solution d'acide chlorhydrique 0,05 mol.L⁻¹ et de quelques gouttes de vert de bromocrésol comme indicateur coloré. Les analyses des anions (Cl⁻, NO³⁻, SO₄²⁻) et des cations (Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺) ont été réalisées à l'aide d'une chromatographie ionique constitué d'un appareil Dionex DX 100[®] modèle DX1-03 (Dionex corporation, Sunnyvale, California, USA) couplé à un Dionex modèle ICS 900[®] (Dionex corporation, Sunnyvale, California, USA). Le système chromatographique utilisé est qualifié et notamment la répétabilité des injections est vérifiée avant chaque analyse. Ce test de conformité du système chromatographique permet d'optimiser les analyses avec une seule injection.

2-2-1. Analyse des anions

L'analyse de anions a été réalisée sur une colonne IonPac[®] AS14A (250 x 4 mm) contenant une phase stationnaire constituée de billes de silice sulfonée de 5 µm de diamètre sur lesquelles sont greffées

chimiquement des billes de latex porteuses de groupements ammonium quaternaires sur une épaisseur de l'ordre de 0,1 μm . Celle-ci est précédée d'une colonne de garde IonPac[®] AG14A (4 x 50 mm) de même composition de phase stationnaire. L'éluant est constitué d'un mélange de bicarbonate de sodium (Na_2CO_3) et d'hydrogénocarbonate de sodium (NaHCO_3). Un suppresseur ASRS 300[®] auto-régénérant a été utilisé pour éliminer le bruit de fond résultant de la conductivité de la phase mobile. Une boucle rhéodyne de 25 μL a permis l'introduction des échantillons entraînés par la phase mobile à un débit de 1,2 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$. Les anions ont été détectés à l'aide d'un détecteur conductimétrique DS5. L'étalonnage a été réalisé sur la gamme de concentration 0,5; 1; 5; 10 et 20 ppm.

2-2-2. Analyse des cations

Une solution d'acide méthane sulfonique 20 mm ($\text{CH}_3\text{SO}_3\text{H}$) a été utilisée comme éluant avec un débit de 1,2 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$. La séparation des cations a été réalisée sur une colonne IonPac[®] CS12A de 250 x 4 mm couplée à une pré-colonne IonPac[®] CG12A de 4 x 50 mm contenant toutes deux, comme phase stationnaire, des billes de résines comportant des groupements carboxyliques et phosphoriques. Un suppresseur CSRS 300[®] auto-régénérant permettait la suppression de la conductivité de l'éluant et les cations, en sortie de colonne, étaient détectés par conductimétrie comme pour les anions. Le volume d'injection de 25 μL est introduit grâce au même système utilisé pour les anions. La gamme d'étalonnage est identique à celle des anions. Le logiciel Chromeleon[®] a permis le pilotage du système et l'acquisition des données dont l'exploitation a été faite à l'aide du tableur Microsoft Excel 2007. Les réactifs, standards et solvants utilisés sont de qualité pour analyses et constitués d'acide méthane sulfonique extra pur (99 %), de bicarbonate de sodium (99,7 %), d'hydrogénocarbonate de sodium (95 %), de substances anioniques et cationiques de référence de pureté supérieure ou égale à 99 % (Na_2SO_4 , NaCl , NaNO_3 , KCl , NH_4Cl , $\text{MgCl}_2(6\text{H}_2\text{O})$ et CaCl_2). Ils ont été fournis par Sigma-aldrich Chimie, St. Quentin Fallavier, France.

3. Résultats et discussion

Les valeurs des paramètres classiques (pH, conductivité et résidu sec) mesurées dans les eaux minérales naturelles étudiées sont mentionnées dans le **Tableau 1**.

Tableau 1 : Valeurs mesurées des paramètres classiques des eaux minérales naturelles étudiées

Marque	pH	Conductivité ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Résidu sec ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)
Kirène	6,68	0,30	138
Safy	7,81	0,38	134
Fontaine	7,72	1,10	262
Volvic	7,16	0,26	82
Evian	7,51	0,75	290
Badoit	6,15	1,99	1170
Pierval	7,34	0,54	387
Vittel	7,61	0,16	57
Casino Mont-Blanc	7,32	0,20	200
Cristaline	7,54	0,64	268
Vichy St-Yorre	6,75	6,91	3576
Hepar	7,58	2,73	2730

Ce **Tableau** montre que parmi les eaux minérales naturelles étudiées, 75 % ont un pH supérieur à 7. Trois des marques d'eaux dont une d'origine locale (Kirène) et deux importées (Badoit et Vichy St-Yorre) présentent un caractère acide. L'analyse des valeurs de la conductivité et du résidu sec permet d'apprécier la minéralisation des eaux minérales naturelles. Le **Tableau 1** montre que ces deux paramètres sont très élevés pour les eaux minérales Vichy Saint-Yorre, Hepar et Badoit avec respectivement 3576 mg.L⁻¹, 2730 mg.L⁻¹, 1170 mg.L⁻¹ de résidu sec et 6,91 μ S.cm⁻¹, 2,73 μ S.cm⁻¹ et 1,99 μ S.cm⁻¹ de conductivité constituant ainsi de loin les eaux les plus minéralisées. La minéralisation totale exprimée en résidu sec par litre d'eau est une première classification des eaux minérales [12-15]. La minéralisation la plus faible a été enregistrée avec les eaux minérales Vittel et Volvic qui ont respectivement 57 mg.L⁻¹ et 82 mg.L⁻¹ pour le résidu sec et 0,16 μ S.cm⁻¹ et 0,26 μ S.cm⁻¹ pour la conductivité. Les eaux minérales de production locale à savoir Kirène, Safy et Fontaine ont une minéralisation faible avec des résidus secs qui n'atteignent pas 500 mg.L⁻¹ pour aucune des marques et une conductivité également faible. Ainsi, il ressort de ce résultat que la majorité des eaux (9/12) sont qualifiées d'eaux oligo-minérales (50 < résidu sec < 500 mg.L⁻¹) [16-17]. Il convient de faire remarquer qu'une eau minérale naturelle n'est pas nécessairement une eau "minéralisée" mais plutôt une eau dont ses constituants lui confèrent un "intérêt médical" ou des propriétés thérapeutiques reconnues [18-19]. De plus, la minéralisation totale ne permet pas de caractériser et de différencier les eaux minérales naturelles car ce paramètre ne prend pas en considération leur profil chimique [7]. Afin de s'intéresser au profil chimique des eaux minérales naturelles étudiées, leur répartition ionique a été déterminée et les résultats sont présentés en **Figure 1**.

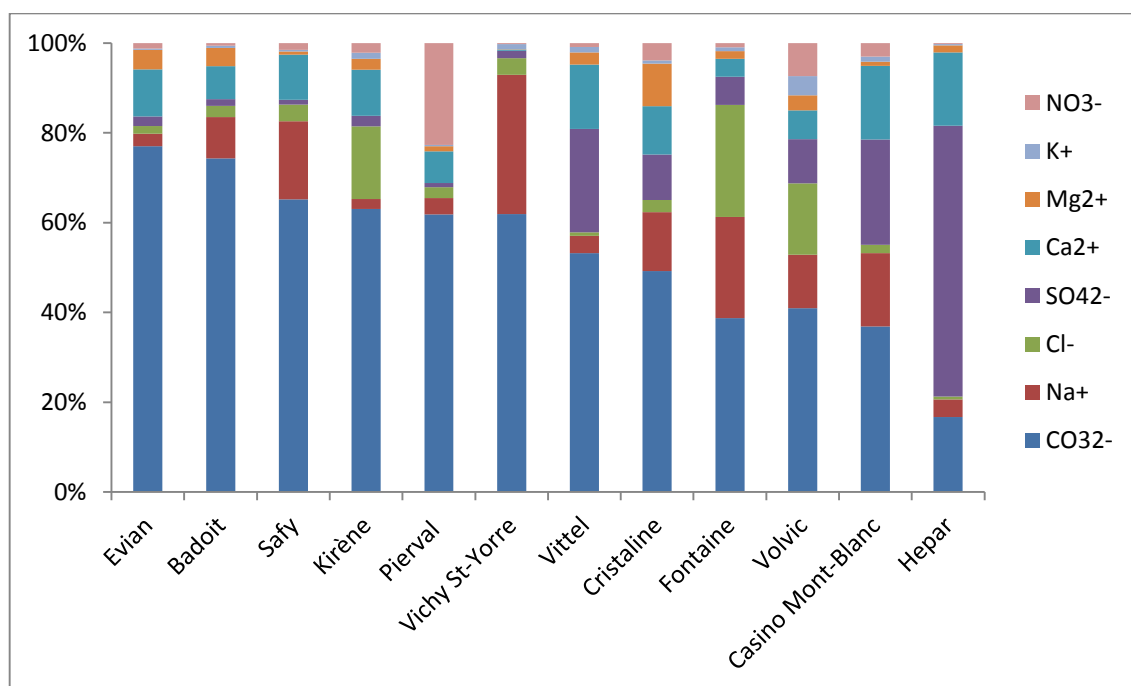


Figure 1 : Répartition de la composition ionique des eaux minérales naturelles

La **Figure 1** montre que les taux de bicarbonate les plus élevés (plus de 60 %) ont été observés avec les eaux minérales Evian, Badoit, Safy, Kirène, Pierval, Vichy Saint-Yorre. Les eaux minérales Fontaine, Volvic, Casino Mont-Blanc et Hepar ont présenté la répartition en carbonates la plus faible représentant moins de 40 % de leur composition ionique.

Seule l'eau minérale Hepar a un taux en carbonate de moins de 20 %. Les eaux bicarbonatées sont surtout utilisées comme boisson de table et pour couper l'alcool ou le vin. En effet, les bicarbonates améliorent la digestion ; une eau minérale naturellement gazeuse riche en cet élément sera appréciée au repas. Ces eaux entraînent également une alcalinisation des urines ce qui fait qu'elles sont utilisées en urologie pour le traitement de certaines lithiases urique [20]. Les eaux minérales les moins carbonatées comme Hepar, Vittel et Casino Mont-Blanc sont, par contre, caractérisées par une composition sulfatée calcique qui peut varier selon la marque de 40 à 80 %. Les eaux sulfatées calciques sont indiquées dans les troubles urinaires et dans certaines maladies métaboliques [21]. Seule les eaux minérales Fontaine et Vichy St-Yorre présentent une composition en chlorure sodique voisine de 40 %. Ces eaux très salines sont généralement à éviter surtout chez certains sujets qui suivent un régime hyposodé [20]. Les teneurs en nitrates des eaux minérales naturelles répertoriées sur le marché sénégalais sont globalement inférieures à la norme sénégalaise qui est de 45 mg.L⁻¹ [22] et celle de l'OMS qui est de 50 mg.L⁻¹ (10 mg.L⁻¹ pour les bébés) [23] à l'exception de l'eau minérale Pierval qui a une teneur élevée de 94,5 mg.L⁻¹.

Bien que les nitrates n'aient pas d'effets toxiques directs sauf à des doses élevées, le fait qu'ils puissent donner des nitrites conduit à une méthémoglobinémie chez le nourrisson [20]. Toutefois, cette classification des eaux minérales en eaux carbonatées, sulfatées calciques ou encore chlorurées sodiques basée seulement sur la répartition des minéraux peut être trompeuse car pouvant résulter d'un déséquilibre ionique [7]. En effet, selon le protocole de classification qui tient compte de la teneur des constituants ioniques (calcium, carbonates, chlorures, sulfates, etc.) appliqué systématiquement au classement des eaux minérales, on distingue les eaux calciques ($\text{Ca}^{2+} > 150 \text{ mg.L}^{-1}$), les eaux carbonatées ($\text{CO}_3^{2-} > 600 \text{ mg.L}^{-1}$), les eaux sulfatées ($\text{SO}_4^{2-} > 200 \text{ mg.L}^{-1}$), les eaux chlorurées ($\text{Cl}^- > 200 \text{ mg.L}^{-1}$) [24 - 25]. Ainsi, sur la base des teneurs en minéraux des eaux (**Tableau 2**), les marques Hepar, Badoit et Vichy St-Yorre sont respectivement classées sulfatée calcique, carbonatée calcique et carbonatée sodique.

Tableau 2 : *Composition ionique mesurée et mentionnée des eaux minérales naturelles*

Eléments	Concentration	Kirène	Safy	Fontaine	Volvic	Evian	Badoit	Pierval	Vittel	Casino Mont-Blanc	Cristaline	Vichy St-Yorre	Hepar
Ca ²⁺	Mentionnée	44,8	67	62,2	11,5	80	190	103	94	27,6	39	90	549
	Mesurée	24,7	27	15,2	9,6	34	82	29	59	27,1	36	14	274
Mg ²⁺	Mentionnée	6,1	12	25,2	8	26	85	4,7	20	2,6	25	11	119
	Mesurée	5,8	2	6,4	5	14	45	4,9	11	1,6	32	4	27
K ⁺	Mentionnée	1,9	8	0,11	6,2	1	10	1	5	1,9	1,5	132	4
	Mesurée	3,3	1	3,36	6,4	1	6	1	5	1,8	2,2	56	4
Na ⁺	Mentionnée	8,9	11	96	11,6	6,5	165	7,9	7,7	1,6	19	1708	14
	Mesurée	5,3	47	85	17,8	9	102	14,8	15,8	27,1	44	1525	66
HCO ₃ ⁻	Mentionnée	156	280	212	71	360	1300	315	248	64,2	290	4368	383
	Mesurée	152	176	146	61	250	829	256	219	61	165	3044	280
SO ₄ ²⁻	Mentionnée	3,8	4	50,8	8,1	12,6	38	4,5	120	32,5	5	174	1530
	Mesurée	5,8	3	23,6	14,7	7,1	17	3,8	95	38,9	34	81	1011
NO ₃ ⁻	Mentionnée	3,4	1	0,01	6,3	3,7		11		2	2		4,3
	Mesurée	5,2	4	3,39	10,9	3,9	6,13	94	3,54	5	13	9	3,9
Cl ⁻	Mentionnée	17	24	173	13,5	6,8	44	12,4	4	1	4	322	11
	Mesurée	39	10	94	23,6	5,5	28	10,3	3	3	9	184	11

Les marques Kirène, Volvic, Evian, Pierval et Vittel sont quant à elles classées pauvre en sodium ($\text{Na}^+ < 20 \text{ mg.L}^{-1}$). Les autres eaux minérales n'ont pas de classification précise et jouissent par conséquent de propriétés diversifiées. Selon la norme Sénégalaise relative aux spécifications des eaux minérales naturelles, il faut exiger de l'exploitant les preuves que l'eau respecte les critères des eaux minérales naturelles dont la stabilité de la composition chimique [22]. C'est dans ce sens qu'il a été procédé à la comparaison des valeurs mesurées dans cette étude aux valeurs indiquées dans l'étiquette des bouteilles d'eau minérale pour chaque marque (**Tableau 2**). Concernant le calcium, toutes les marques d'eau minérales ont présenté des concentrations qui sont largement en dessous de celles indiquées sur l'étiquette à l'exception des eaux Casino Mont-Blanc, Volvic et Cristalline. Cette perte de calcium pourrait être due à une précipitation de cet élément sous forme de calcite pendant la mise en bouteille et le stockage [26]. S'agissant du potassium, la quasi-totalité des eaux importées ont des concentrations mesurées similaires à celles mentionnées sur l'étiquette contrairement aux eaux d'origine locale qui ont présenté des fluctuations. Pour ce qui est des anions, de manière générale, toutes les eaux ont montré des concentrations qui sont différentes de celles indiquées à quelques exceptions près particulièrement le carbonate pour les marques Kirène et Casino Mont-Blanc, le sulfate pour les marques Pierval, Safy et Casino Mont-Blanc. Ainsi, aussi bien pour les anions que les cations, la variation acceptable est de $\pm 20 \%$ [27]. En considérant les huit ions mesurés, seules les eaux minérales naturelles Pierval et Casino Mont-Blanc ont des compositions ioniques d'au moins 50 % de conformité avec celles indiquées sur l'étiquette. Les eaux Fontaine, Vichy St-Yorre et Badoit sont à 0 % de conformité avec les valeurs de référence. Des observations similaires ont été rapportées dans d'autres études en Europe où les auteurs ont constaté que les teneurs mesurées sont supérieures à celles indiquées sur l'étiquette [4-6]. En effet, ces types d'eau ont tendance à évoluer plus ou moins rapidement dès leur émergence résultant d'une oxydation, floculation des composés chimiques [28]. En conséquence, il y a à noter que la conservation de la stabilité de la composition chimique des eaux minérales naturelles embouteillées est difficile à réaliser.

4. Conclusion

La qualité physicochimique de 12 marques d'eaux minérales naturelles commercialisées au Sénégal a été étudiée en déterminant entre autres des éléments minéraux par chromatographie ionique et le résidu sec par une méthode normalisée. Seules trois des eaux étudiées ont présenté une forte minéralisation. Les concentrations en éléments minéraux de la majorité des eaux analysées ont montré des variations significatives avec celles indiquées sur l'étiquette de la bouteille. Il serait utile de procéder à un contrôle très strict de l'eau minérale au cours de l'exploitation afin de leur assurer un haut niveau de sécurité. Ainsi, des prélèvements mensuels sur une période d'un an permettraient de dégager les profils de variation et de confirmer ces résultats.

Références

- [1] - T. EYOG, *Thèse Pharmacie Université Cheikh Anta DIOP Dakar*, 21 (1990).
- [2] - C. HEUSGHEM, D. RONDIA and V. BENEDEN, *Livre de l'eau*, 4 (1965) 331-378.
- [3] - OMS, *Analyse et évaluation mondiales sur l'assainissement et l'eau potable*, Rapport OMS, Genève (2012) 112p.
- [4] - A. MISUND, B. FRENGSTAD, U. SIEWERS and C. REIMANN, *Sci. Total Environ.*, 243/244 (1999) 21-41.
- [5] - A. IKEM, S. ODUEYUNGBO, N.O. EGIEBOR and K. K. NYAVOR, *Sci. Total Environ.*, 285 (2002) 165-175.

- [6] - V. NADDEO, T. ZARRA and V. BELGIORNO, *Journal of Food Composition and Analysis*, 21 (2008) 505-514.
- [7] - G. POPOFF, *Press Therm. Climat.*, 147 (2) (2010) 93-106.
- [8] - E. PIP, *Environmental Health Perspectives*, 108 (2000) 863-866.
- [9] - M. FELIPE-SOTELO, E.R. HENSHALL-BELL, N.D.M. EVANS and D. READ, *Journal of Food Composition and Analysis*, 39 (2015) 33-42.
- [10] - ANSD, *Rapport définitif du Recensement général de la population au Sénégal*, (2014) 418p.
- [11] - AFNOR, NF T90-029, (2002).
- [12] - G. POPOFF, *Press Therm. Climat.*, 129 (3) (1992) 192-201.
- [13] - M. KRACHLER and W. SHOTYK, *Sci. Total Environ.*, 407 (2009) 1089-1096.
- [14] - C. LOURENÇO, L. RIBEIRO and J. CRUZ, *Journal of Geochemical Exploration*, 107 (3) (2010) 362-372.
- [15] - L. PETRACCIA, G. LIBERATI, S.G. MASCIULLO, M. GRASSI, A. FRAIOLI, *Clin. Nutr.*, 25 (3) (2006) 377-385.
- [16] - H. D. BELITZ, W. GROSCH and P. SCHIEBERLE, in *"Drinking water mineral and table water in food chemistry"*, Ed. Springer, Berlin, (2009) 986-988.
- [17] - D. HURET, *Liquide et Conditionnement*, 35 (2010) 23-25.
- [18] - N. CORREIA, A. BINET, J. CALIOT, M.L. POLI-MEROL, F. BODIN and C. FRANÇOIS-FIQUET, *Ann. Chir. Plast. Esthet.*, (2015) in press Elsevier Masson.
- [19] - P. QUENEAU, *"Médecine thermique, Faits et preuves"*, Ed. Masson et C^{ie}, Paris (2000).
- [20] - P. QUENEAU et J. HUBERT, *Press Therm. Climat.*, 146 (2009) 175-220.
- [21] - C. DUPONT, A. CAMPAGNE and F. CONSTANT, *Clinical Gastroenterology and Hepatology*, 12 (2014) 1280-1287.
- [22] - ASN, NS 05-034, (1994).
- [23] - OMS, *Directive de qualité pour l'eau de boisson*, Rapport OMS, 3 ed, 1 (2004) 110p.
- [24] - UE, Directive 2009/54/CE, Journal officiel de l'Union Européenne (2009).
- [25] - A. HAZZAB, *Compte Rendu Géoscience*, 343 (2011) 20-31.
- [26] - P. L. SMEDLEY, *Applied Geochemistry* 25 (2010) 1872-1888.
- [27] - FSAS, Guidance Notes. Annex G. *Food Standards Agency Scotland*, (2006) 28p.
- [28] - A. MORETTE, in *"Précis d'hydrologie"*. Ed. Masson et C^{ie}, Paris, (1964) 425-518.