

Evaluation De La Qualité Des Ressources En Eau De Boisson De La Communauté Rurale De Patar (SENEGAL) : Focus Sur Le Fluor

Mouhamadou Thierno Gueye¹, Dame Bop², Omar Gueye³

^{1,2}Université Cheikh Anta Diop de Dakar

Faculté des Sciences et Techniques, Département de Chimie
Sénégal

³Université Amadou Makhtar Mbow
Sénégal



Résumé— La plupart des eaux potables sinon toutes renferment des quantités de fluorures, pouvant être toxiques ou bénéfiques pour l'homme et contiennent aussi un certain nombre d'éléments minéraux, qui peuvent conférer à l'eau une saveur désagréable. Notre étude a porté sur l'eau du forage de la communauté rurale de PATAR, sur trois puits du village de SAMBE et cinq autres puits différents des villages environnant à savoir GAPO, GUINTE, TOKOSSONE, NGARAF, PEUL. L'eau du forage contient une concentration excessive en fluorure soit 10 fois plus grande que la valeur maximale admissible recommandée (0,8mg/L) par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) pour le SENEGAL. Cette eau est aussi caractérisée par une très forte salinité ce qui lui confère un goût saumâtre. Pour l'eau des puits, leur concentration en fluorure est en dessous de 1,5mg/L mais elle demeure très dure. Les analyses microbiologiques montrent que l'eau peut être microbiologiquement contaminée à tous les niveaux (forage et puits). Ainsi, la désinfection est suggérée par UV ou hypochlorite ou chlore pour une élimination des agents pathogènes.

Mots clés— Fluorure, forage, puit, salinité, Patar

Abstract— Most if not all drinking water contains amounts of fluoride, which may be toxic or beneficial to humans, and also contains a number of mineral elements, which can give the water an unpleasant flavor. Our study focused on the drilling water of the rural community of PATAR, on three village wells of SAMBE and five other different wells of the surrounding villages namely GAPO, GUINTE, TOKOSSONE, NGARAF, PEUL. The borehole water contains an excessive concentration of fluoride, which is 10 times greater than the maximum admissible value recommended (0.8 mg / L F⁻) by the World Health Organization (WHO) for SENEGAL. This water is also characterized by a very high salinity which gives it a brackish taste. For well water, their fluoride concentration is below 1.5 mg/L but it remains very hard. Microbiological analyzes show that water can be microbiologically contaminated at all levels (boreholes and wells). Thus, disinfection is suggested by UV or hypochlorite or chlorine for pathogen removal.

Keywords— fluoride, borehole, well, salinity, Patar

I. INTRODUCTION

Toutes les formes de vie sur terre dépendent de l'existence de l'eau (l'Hydrogène et l'Oxygène sont des éléments essentiels). Chaque être humain doit consommer plusieurs litres d'eau par jour (au moins un litre et demi) pour son propre maintien. Malheureusement, il n'est pas toujours possible partout dans le monde de trouver une eau suffisamment pure pour un usage potable. Une eau potable est une eau que l'on peut boire sans risque pour la santé. Aujourd'hui déjà plus de 1,5 milliards de personnes n'ont pas accès à une eau potable saine. 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 n'avoir pas accès à l'eau potable [1], [2]. Afin de définir précisément une eau

potable, des normes ont été établies qui fixe notamment les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nocives et susceptibles d'être présentes dans l'eau. Le fait qu'une eau soit conforme aux normes, c'est-à-dire potable, ne signifie donc pas qu'elle soit exempte de matières polluantes, mais que leurs concentrations ont été jugées suffisamment faibles pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur. Ainsi, l'effet d'une substance dépend de sa dose. PARACELSE disait au XVI^{ème} siècle déjà que : " toutes les substances sont des poisons, sans exception. C'est la dose qui fait le poison ou le remède." Il faut noter, qu'aucune des eaux à la disposition de l'homme n'est absolument pure en l'état [3]. Ces eaux renferment toutes, à des concentrations plus ou moins élevées, de multiples substances dissoutes ou en suspension qui peuvent être bénéfiques ou nuisibles au consommateur : calcium, potassium, magnésium, sodium, manganèse, strontium, baryum, sulfates, chlorures, etc. Les différentes concentrations de ces différents éléments, ou de ceux parmi eux, les plus importants pour la santé de l'homme, constituent les critères de potabilité d'abord, ensuite de qualité des eaux de boisson ou alors des critères de dégradation qui imposent un traitement de l'eau. Cependant, les effets des fluorures contenus dans les eaux de boisson, bénéfiques ou néfastes en fonction de leur concentration, sont connus depuis de nombreuses années [4], [5], [6]. Sur le plan physiologique le fluor est un oligo-élément nécessaire et bénéfique pour l'organisme. Certains pays ont connu pendant plusieurs années la supplémentation systématique en fluor chez les enfants, voire même les femmes enceintes [7]. En France, un arrêté interministériel du 31 octobre 1985 a autorisé la fabrication et la vente de sel de table fluoré à 250 mg/kg de sel [8] ; même si l'usage n'est cependant pas autorisé dans les collectivités ou dans l'industrie alimentaire. Le fluor est utile contre les caries et durcit l'émail des dents ; à plus forte concentration il fragilise les os ou provoque des points de cristallisation favorisant l'apparition d'arthroses articulaires déformantes : c'est la fluorose [9]. La consommation courante d'une eau de concentration en ions fluorure entre 2 et 4 mg/L par un enfant de moins de six ans entraîne inéluctablement une fluorose dentaire qui se traduit par des dents marbrées (coloration définitivement jaune ou marron foncé). La fluorose dentaire se définit comme étant une hyper minéralisation de l'émail dentaire induite par le fluor à proximité de la dent en développement pendant la phase sécrétoire et de maturation des phénomènes menant à la formation de l'émail. Lorsque la concentration en ions fluorure est supérieure à 4 mg/L avec une exposition d'au moins 2 années consécutives, il se produit dans le temps une fluorose osseuse qui se traduit par des problèmes de santé beaucoup plus importants (gonflement des membres supérieures et/ou inférieures, déformation de la colonne vertébrale, blocage de certaines articulations...). Ainsi, la réglementation concernant la qualité de l'eau destinée à la consommation pour le fluor tient compte, en principe, de la consommation journalière et de la température moyenne du milieu. Ainsi, la recommandation de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) est de 1,5 mg/L suivant la température et 0,8mg/L pour le SENEGAL [10]. Par ailleurs, de nombreux pays producteurs de phosphates, et dont la présence de minerais de phosphates (hydroxy-apatite) est souvent associée à celle de minerais de fluor (fluoro-apatite), possèdent des régions où certaines eaux en provenance des nappes captives présentent des teneurs en fluor supérieures aux normes: Moyen orient, Afrique du nord, Sénégal, Kenya, Inde, USA, France.... Cependant, face à des facteurs comme l'accroissement démographique et la relative rareté des eaux de pluie dans certaines zones, les ressources en eaux alimentaires et de bonne qualité se font de plus en plus rares. En effet, dans la zone de Diourbel, l'alimentation en eau se fait à partir des eaux souterraines comportant des teneurs en fluorure supérieures aux normes admissibles alors qu'elles représentent les seuls moyens d'approvisionnement en eau potable [11]. Ainsi, l'évaluation de la qualité des ressources en eau de boisson dans la communauté rurale de Patar a fait l'objet de nos analyses des paramètres physicochimiques et microbiologiques et particulièrement la teneur en fluorure.

II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. La zone d'étude

La zone d'étude qui est le département de DIOURBEL et particulièrement la communauté rurale de PATAR est située au centre du SENEGAL. Elle comprend 52 villages et sa population s'élève à 13 190 habitants. Il s'agit d'une communauté rurale très facile d'accès car, située sur l'axe routier DIOURBEL-MBACKE [12]. Elle est située dans le domaine de transition soudano sahélien. Le climat de cette zone est caractérisé par l'existence de deux saisons : une saison humide courte, allant de juin à octobre ou hivernage et une longue saison sèche marquée par des vents chauds dits harmattans. Dans le contexte actuel, on assiste à une hausse importante de la pluviométrie. Ceci constitue un grand avantage pour les disponibilités hydriques dans la zone mais cela permet aussi la dilution des nappes qui peut entraîner une baisse de la concentration en fluorure. Dans la zone de DIOURBEL, l'alimentation en eau à partir des eaux souterraines se fait essentiellement à partir de 3 couches aquifères : celles du Maestrichtien, de l'éocène et du continental terminal [13], [11].

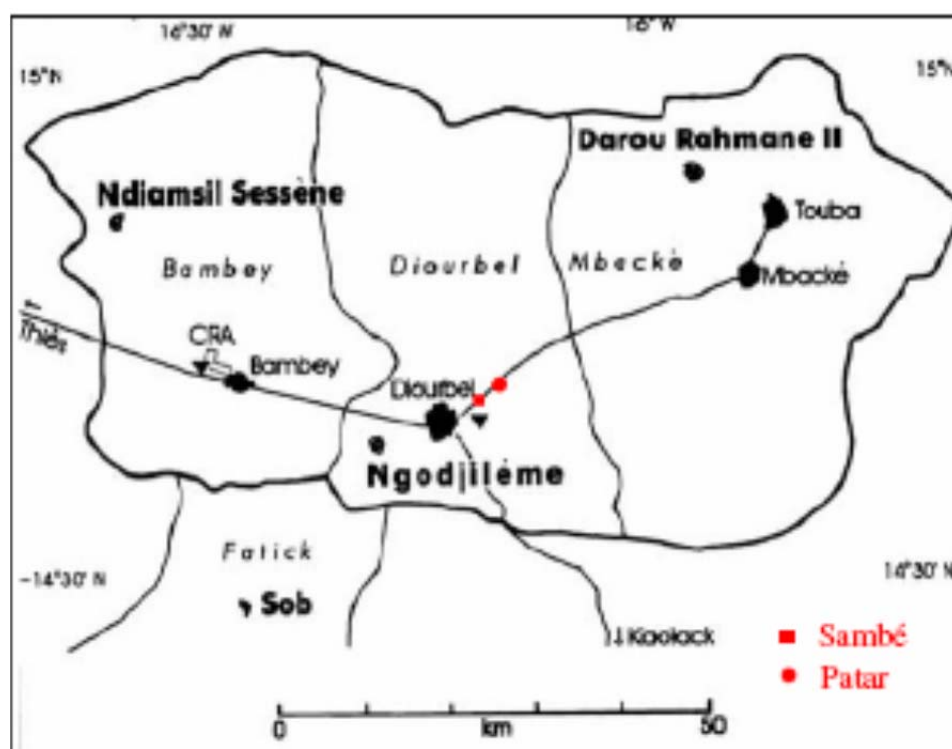


Fig.1: Localisation de la communauté rurale de PATAR

2.2. Échantillonnage

Notre étude a porté sur l'analyse des eaux du forage de PATAR, de trois puits du village de SAMBE et cinq autres puits différents des villages environnant à savoir GAPO, GUINTE, TOKOSSONE, NGARAF, PEUL. Ainsi, ils constituent deux types de source d'eau de boisson:

-Les sources d'eau traditionnelles : les puits creusés à une profondeur d'environ 30 mètres et possédant ou non une margelle. Les puits ne sont pas couverts et le prélèvement se fait par des seaux attachés à des cordes.



Fig.2: Sources d'eau traditionnelles (puits)

Trois puits ont été choisis dans le village de SAMBE désignés par :

*SAMBE 1 : puit d'une maison

*SAMBE 2 : puit de l'école

*SAMBE 3 : puit privé dont l'eau est commercialisée par un système de pompage et de robinet

Et cinq autres puits choisis dans cinq villages différents environnants à savoir GAPPO, GUINTE, TOKOSSONE, NGARAF et PEUL.

-Les sources d'eau récentes : ce sont les forages et leurs prolongements sont les robinets. Les forages sont caractérisés par leur très grande profondeur environ 266 mètres, ce qui nécessite l'utilisation d'une pompe électrique.



Fig.3: Sources d'eau récentes (forage)

Pour ces ressources en eau étudiées, plusieurs échantillons ont été prélevés puis apportés au laboratoire en respectant les délais d'analyse [14]. Tous les prélèvements ont été effectués conformément à la procédure normalisée du CNR IRSA pour les analyses in situ et la procédure standard pour les autres analyses. Ainsi, nous avons utilisé le Photomètre WTW PHOTOFLEX TURB SET pour la mesure des paramètres suivants : chlorure, chlore libre, chlore total, nitrate, phosphate, sulfate, dureté, aluminium, cadmium, plomb, manganèse, chromate, cuivre, zinc, fer et turbidité. L'Ionomètre WTW PH/ION 340i a été utilisé pour la mesure du fluorure et du pH. L'oxygène dissous et la conductibilité/salinité sont déterminés par le Multiparamétrique HD 98569 et le Kit TRAWAS pour les analyses microbiologiques (Escherichia Coli, Coliformes et Streptocoques).

III. RÉSULTRATS ET DISCUSSION

3.1. Résultats

Les résultats des mesures sont obtenus par la moyenne de cinq mesures pour chacun des paramètres correspondant. Ainsi, le Tab.1 et le Tab.2 indiquent respectivement les valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques et microbiologiques des ressources en eau de boisson dans la communauté rurale de Patar.

TABLEAU I: MOYENNE DES RESULTATS DES PARAMETRES PHYSICOCIMIQUES DES RESSOURCES EN EAU DE PATAR

Paramètres	Forage de PATAR	Puit Sambé3	Puit Peul	Puit Tokossone	Puit Gappe	Valeur limite (OMS)
Fluorures (mg/L)	7.18	0.46	2.18	1.215	0.423	1.5
Chlorures (mg/L)	719	34	51	39	32	200

Conductivité (µS)	2.67	627	945	0.775	0.695	< 400
TDS (mg/L)	1.319	312	473	0.388	0.348	600
NaCl (mg/L)	1.335	303	459	0.376	0.336	
Phosphates (mg/L)	0.01	0.02	0.26	0.09	0.13	5
Sulfates (mg/L)	71	<25	79	39	<25	250
Manganèse (mg/L)	0.01	0.01	0.02	0.08	0.04	0.4
Fer (mg/L)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.3
Cuivre (mg/L)	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	2
Zinc (mg/L)	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025	3
Aluminium (mg/L)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.1
Plomb (mg/L)	<0.01	0.13	-	-	-	0.01
Cadmium (mg/L)	<0.025	<0.025	-	-	-	0.003
Chrome (mg/L)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.05
Température (°C)	31.2	32.6	32.7	32.5	32.2	-
pH	8.4	7.55	7.55	7.28	7.40	6.5-8.5
Dureté (mg/L)	30	300	360	350	330	200
Oxygène dissout (mg/L)	5.75	5.31	5.68	5.78	5.85	-
Turbidité (NTU)	0.18	0.19	0.36	0.52	0.43	5

TABLEAU II: MOYENNE DES RESULTATS DES PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES DES RESSOURCES EN EAU DE PATAR

Bactéries	Eau du forage	Eau de SAMBE 2
Coliformes totaux	6666 UFR/100mL	Non dénombrable
Escherichia Coli	3333 UFR/100mL	Non dénombrable
Streptocoques	44 UFR/100mL	4000 UFC/100mL

Les concentrations en fonction des dates du fluorure et du chlorure dans l'eau du forage sont représentées dans les Fig.4 et Fig.5 respectivement et celles des différents puits sont dans les Fig.6, 7 et 8.

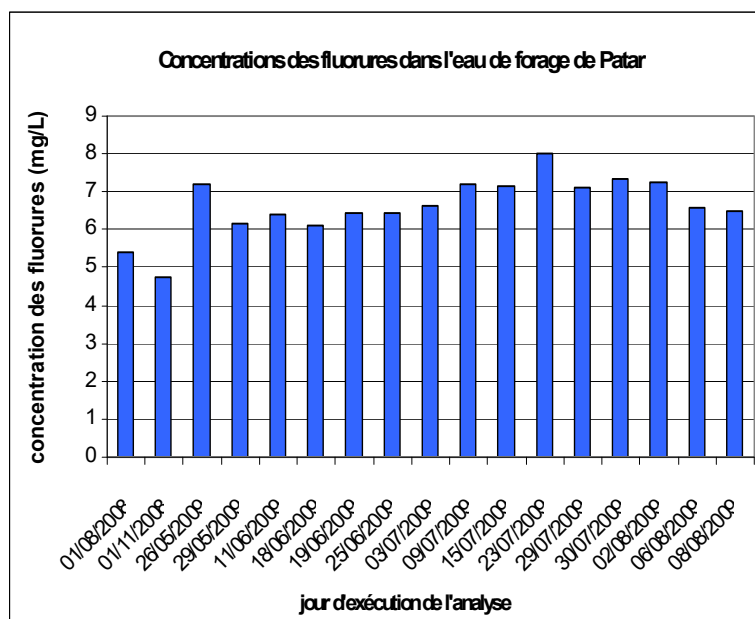


Fig. 4 : Concentration des fluorures de l'eau du forage de PATAR en fonction des dates

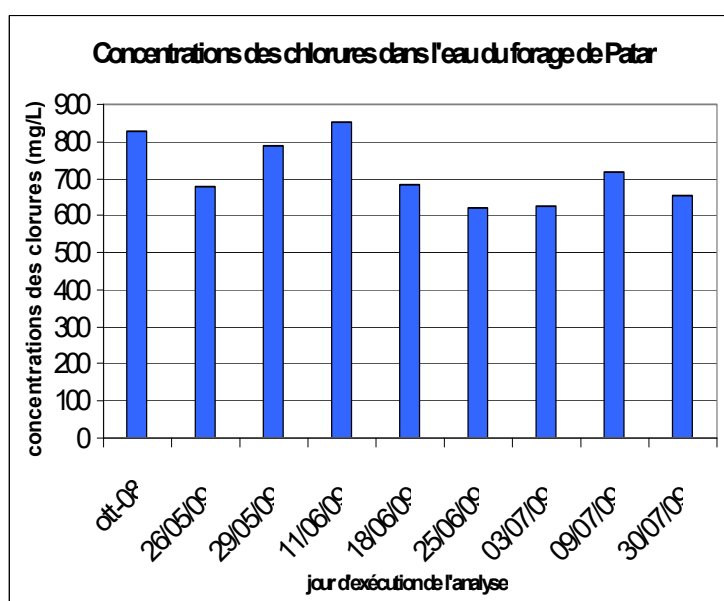


Fig. 5 : Concentration des chlorures de l'eau du forage de PATAR en fonction des dates

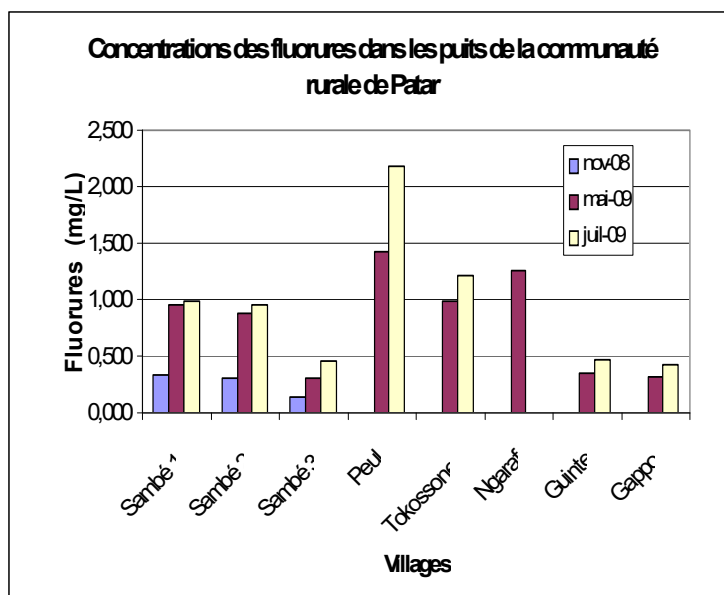


Fig.6 : Concentration des fluorures de l'eau des puits de PATAR en fonction des dates

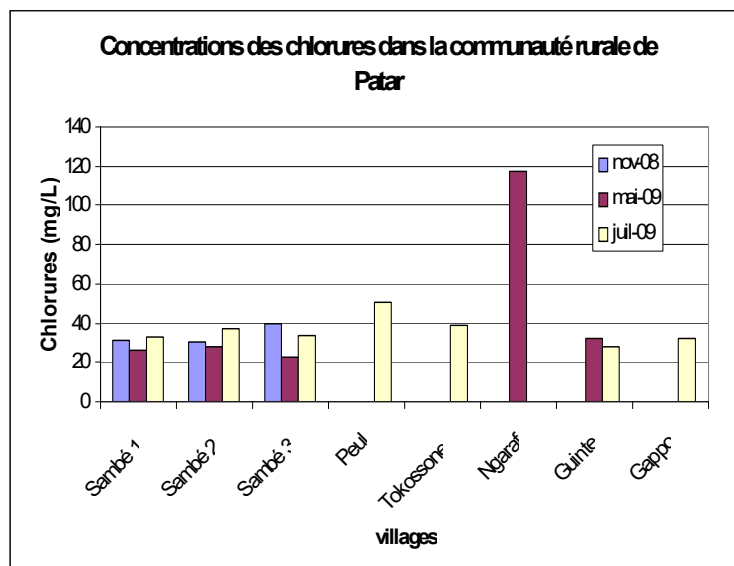


Fig. 7 : Concentration des chlorures de l'eau des puits de PATAR en fonction des dates

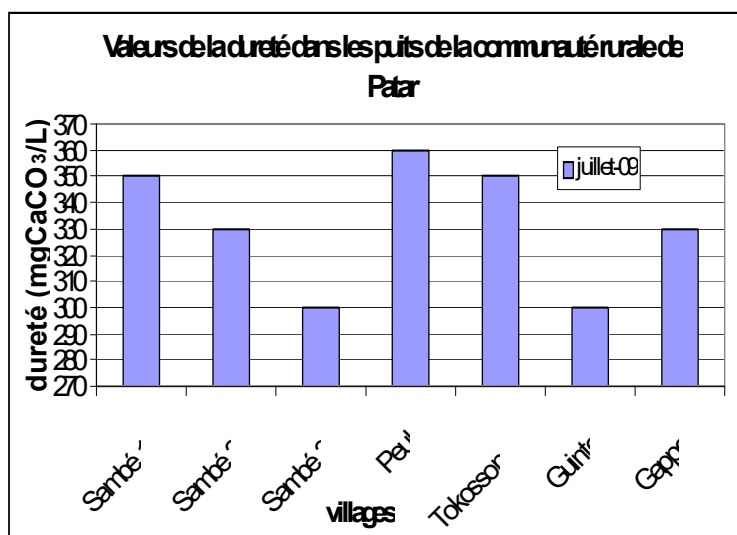


Fig. 8 : Dureté de l'eau des puits de PATAR

3.2. Discussion

Paramètres organoleptiques

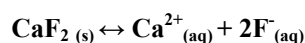
C'est l'odeur, la couleur, la saveur et la turbidité. Tous ces paramètres sont corrects dans les eaux du forage et des différents puits de PATAR.

Paramètres physico-chimiques

Il s'agit de la température, le pH, la conductivité, le chlorure, sulfate, calcium, oxygène dissous, ions...etc.

Forage : La Fig.5 montre que la concentration des chlorures dans le forage de PATAR est comprise entre 600 et 900mg/L donc très au-dessus de la valeur maximale admise par l'OMS qui est de 200mg/L. Ainsi, l'eau du forage a une très forte salinité et une concentration en fluorure excessive comprise entre 4 et 8mg/L (Fig.4) selon les périodes de l'année. En effet, la Fig.4 montre qu'à la fin de la saison des pluies, la concentration en fluorure de l'eau du forage a diminué jusqu'à 4,5 mg/L (octobre – novembre). Cette diminution est due à la dilution des nappes par l'eau de pluie qui ne contient pas de fluor. Mais juste avant la saison des pluies, la concentration en fluorure remonte à des valeurs maximales 6-8mg/L (juillet, août).

En effet, les sources naturelles à l'origine de la contenance en fluor des eaux souterraines les plus couramment constatées sont : la nature des roches de l'aquifère, le temps de contact entre l'eau et les minéraux fluorés et le contrôle chimique des eaux. Le fluor est le treizième élément en abondance de la croûte terrestre [15]. D'un point de vue géologique les eaux riches en fluor peuvent se rencontrer dans les trois grands types de terrain que sont les bassins sédimentaires, les zones de socle cristallins et les régions volcaniques. La fluorine CaF_2 , la fluoro-apatite CaF_2 , $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ des bassins phosphatés et les micas sont les principaux minéraux fluorés de ces roches [16]. L'origine du fluor vient alors soit du lessivage des roches magmatiques alcalines possédant des minéraux tels que l'apatite, le topaze ou la fluorine soit de l'activité volcanique elle-même engendrant des apports gazeux fluorés tel que HF [17]. Mais les réservoirs granitiques, bien que potentiellement les plus aptes à fournir du fluor, n'en libèrent dans leur grande majorité qu'une faible partie dans les eaux souterraines. Ceci correspondant au fait qu'en tant qu'élément majeur le fluor de ces roches est difficilement mobilisable à basse température [18]. Par rapport au contrôle chimique, la concentration en fluor dans les eaux dépend essentiellement de l'état de saturation vis à vis de la fluorine (CaF_2). Si l'eau est sous-saturée, la teneur en fluor est généralement le reflet de la quantité disponible au sein de la roche lessivée. Par contre, dans le cas d'une eau saturée, la concentration de fluor est alors limitée par la valeur de la constante de solubilité K_s de la réaction de dissolution de la fluorine :



$$K_s = (\text{Ca}^{2+})(\text{F}^{-})^2$$

$$K_s = 10^{-10.57} \text{ à } 25^{\circ}\text{C} [19]$$

Les fortes teneurs de fluor semblent donc associées le plus souvent à des eaux souterraines, possédant de fortes valeurs de pH (>7) facilitant ainsi les échanges ioniques entre fluorures F^{-} et groupements hydroxyles OH^{-} , et de type bicarbonaté-sodique ($\text{Na}^{+}, \text{HCO}_3^{-}$) caractérisées par des faibles concentrations en magnésium et en calcium en raison de la faible solubilité de la fluorine.

Puits : A l'exception du puit de NGARAF, la concentration des chlorures des autres puits est comprise dans l'intervalle 20-40mg/L donc inférieur à 200mg/L, valeur guide de l'OMS (Fig.7) correspondant à une faible salinité. Donc l'eau des puits n'est pas saumâtre. En outre, la Fig.6 montre qu'à l'exception du puit de PEUL, la concentration des fluorures des autres puits est inférieure à 1,5mg/L, valeur guide de l'OMS. Par ailleurs, la Fig.8 montre que la dureté de tous ces puits est supérieure à 100mg/L (20°F), ainsi l'eau des puits est dure. En effet, une eau est dure si sa dureté est supérieure à 20°F.

Paramètres microbiologiques

Ce sont les coliformes totaux, les coliformes fécaux, les streptocoques, les bactéries, les salmonelles, les insecticides... Cependant, les eaux du forage et des puits sont microbiologiquement très contaminées. En effet, 100mL d'eau contient le plus souvent des dizaines de colonies de coliformes totaux, d'*Escherichia coli* et d'*Streptocoques* alors ils devraient être absents pour la boisson. Donc ces eaux doivent subir un traitement de désinfection. La contamination est probablement dû au fait que les puits ne sont pas couverts et le prélèvement se fait par des seaux attachés à des cordes. Il convient donc d'accorder une attention particulière au cadre en termes de sécurité de l'approvisionnement en eau et de mettre en œuvre des plans complets de gestion de la salubrité de l'eau permettant de garantir en permanence la salubrité de l'eau de boisson et de protéger ainsi la santé des populations. La gestion de la salubrité microbienne de l'eau de boisson requiert une évaluation à l'échelle du réseau des risques susceptibles d'affecter celui-ci.

IV. CONCLUSION

L'évaluation de la qualité des ressources en eau de boisson dans la communauté rurale de Patar a fait l'objet de notre étude. Elle a porté sur l'analyse des eaux du forage de PATAR, de trois puits du village de SAMBE et cinq autres puits différents des villages environnant à savoir GAPO, GUINTE, TOKOSSONE, NGARAF, PEUL. Ainsi, l'eau du forage contient une concentration excessive en fluorure soit 10 fois plus grande que la valeur maximale admissible recommandée pour le SENEGAL (0,8mg/L F^{-}). Cette eau est aussi caractérisée par une très forte salinité ce qui lui confère un goût saumâtre. Pour l'eau des puits, leur concentration en fluorure est en dessous de 1,5mg/L mais elle demeure très dure. Les analyses microbiologiques montrent que l'eau peut être microbiologiquement contaminée à tous les niveaux (forage et puits). En perspective, l'eau du forage nécessite un traitement d'abattement du fluor qui est à l'origine des maladies comme la fluorose dentaire et osseuse très répandues dans cette localité mais également une décontamination microbienne de ces ressources en eau de boisson est recommandée avant toute utilisation.

V. REMERCIEMENTS

Je remercie vivement pour le soutien du laboratoire de recherche sur les technologies appropriées pour la gestion de l'environnement dans les pays à revenu faible et intermédiaire (CeTAmb) de l'université de Brescia qui a financé le projet en collaboration avec l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar.

RÉFÉRENCES

- [1] Marc Laimé, Pénurie Pollution Corruption, Dossier de l'eau, Édition du Seuil, ISBN 2-02- 054814-3, mars 2003.
- [2] Jeune Afrique Economie, n° 349, avril 2003.
- [3] F. O. Sy. Contribution à l'étude du thé vert de Chine utilisée en Afrique de l'Ouest: contrôle de quelques éléments toxicologiques et incidences sur la santé publique. Thèse, Pharm., Dakar, 1991, N°3.

- [4] M. Viland, A. Montiel, Guide pratique pour les intervenants en milieu rural africain, Eau et Santé, Programme Solidarité Eau, Editions du Gret, France, mars 2001.
- [5] A. S. Behrman, H. Gustafson, Ind. Eng. Chem., 1938; 30(9):1011.
- [6] T. A. Raoul, J. Toury, J. Perellon, A. Raba, P. Luven, R. Giorgi, Bull. Med. AOF, 1957 ; (2) 357.
- [7] LA REVUE PRESCRIRE. La supplémentation systématique en fluor chez l'enfant doit être remise en question, 1996 ;(16) :162, 381.
- [8] Arrêté interministériel du 31 octobre 1985 relatif à la fluoration du sel paru au journal officiel du 28 novembre 1985, France.
- [9] M.H. Sy, P. Sène, M.M. Diouf, S. Diouf. Société d'Édition de l'association d'enseignement médical des hôpitaux de Paris, 1996 ; 15(2) :109.
- [10]OMS (Organisation Mondiale de la Santé), "Fluoride in drinking water." Environmental health information section, WHO Headquarters Office in Geneva, 20 Avenue Appia, 12 1 1 Geneva 27, 2002.
- [11]Y. Travy. "Hydrogéochimie et hydrologie isotopique des aquifères fluorurés du bassin du Sénégal. Origine et condition de transport du fluor dans les eaux souterraines". Thèse, Géologie, Paris-Sud, 1988, pp : 9-26
- [12]Abou Ndour. Rapport de projet : "Soutien à la formation et la gestion des eaux potables dans la région de Diourbel au Sénégal", 2009.
- [13]Y. Travy. Moreau J. L. "Le risque fluorotique dentaire au Sénégal". Afr. Méd., 1985, 24 (233) :435-438
- [14]EPA (Environmental Protection Agency), R. a. "Method for chemical anlysis of water and waste". washington: E.P.A., 1983.
- [15]S. R. Taylor. Geochim. Cosmochim. Acta, 1964; vol.28: p.1273-1285.
- [16]S. Koritnig. "Zur Geochemie Des Fluors Den Sedimenten. Fortchr". Geol. Rheinld. Westf, 1963; vol. 10: p.23 1.
- [17]T. Chernet, Y. Travi, V. Valles. "Mechanism of degradation of the quality of natural water in the Lakes Region of the Ethiopian rift valley". Water Res. 2001 ; 35(12): p. 2819-32.
- [18]Travi, Y. "Hydrologie et Hydrochimie des aquiferes du Sénégal, Hydrogéochimie du fluor dans les eaux souterraines." Mémoire N095, institut de géologie, Université Louis Pasteur de Strabourg et Centre de Géochimie de la surface, CNRS, 1, rue Blessig, F-67084 STRABOURG Cedex France, 1993: p. 155.
- [19]S. I. Smyshlyaev, N. P. Edeleva. "Determination of the solubility of minerals. Solubility product of the fluorite." Izv. Vysshikh Uchebn. Zavedenii Khim Teknologiya, 1992; vol.5.