

Teneur en Fluor dans les eaux souterraines et ses impacts dans l'alimentation en eau des populations du Nord-Ouest de la Région de Zinder, Niger

Issoufou SANDAO^{1,2*}, Abdel Kader HASSANE SALEY¹, Maman Bachir GAMBO HALADOU²,
Moussa MAMAN MOUSSA¹ et Boureima OUSMANE¹

¹ Université Abdou Moumouni, Faculté des Sciences, Département de Géologie,
Laboratoire Eaux Souterraines et Géoressources, BP 10 662 Niamey, Niger

² Ministère de l'Hydraulique et de l'Assainissement, BP 517 Niamey, Niger

* Correspondance, courriel : sandaoissoufou@gmail.com

Résumé

Dans la partie Nord-Ouest de la région de Zinder (départements de Belbéjji, Damagaram Takaya, Takiéta et Tanout), caractérisée par un climat de type sahélien, les nappes souterraines constituent les seules sources de prélèvements pour satisfaire les divers besoins en eau (des populations, du cheptel et des industries). Ces ressources sont fossiles et contenues dans des aquifères profonds, nécessitant ainsi la réalisation des forages de grandes profondeurs (600 à 700 mètres) très onéreux pour l'Etat et ses partenaires. Seulement, après leurs réalisations, plusieurs ouvrages débitent des eaux avec des teneurs élevées en Fluor et sont fermés pour mauvaise qualité des eaux destinées à la consommation humaine. La présente étude porte sur l'analyse de la présence et de la répartition des teneurs élevées en fluor dans les eaux souterraines de cette zone, pour mieux comprendre le contexte hydrogéologique de la zone et délimiter les secteurs à risques en vue d'optimiser les futurs investissements. La méthodologie mise en œuvre a consisté à : (i) une analyse bibliographique sur la configuration géologique et hydrogéologique de la zone, (ii) l'inventaire et caractérisation des ouvrages existant, (iii) la sélection de 34 points et l'organisation d'une campagne de prélèvements des échantillons des eaux pour des analyses chimiques au laboratoire. L'interprétation des données ainsi collectées a permis d'établir que les sources de contamination des eaux seraient profondes et sont liées à la lithologie argileuse du principal aquifère du Continental Intercalaire/Hamadien (CI/H). Ce phénomène de contamination des eaux en Fluor (entre 1,48 et 4,76 mg/L) serait localisé dans les secteurs de Koundoumawa, Belbedji, Garagoumsa, Kazoé, Midik et Diouta Haoussa. Une étude minéralogique de l'aquifère est nécessaire pour préciser les profondeurs des faciès lithologiques à fortes teneurs en fluor.

Mots-clés : *hydrogéologie, Fluor, Zinder, Niger, Continental Intercalaire / Hamadien.*

Abstract

Fluorine content in groundwater and its impacts on the water supply of the populations of North West Zinder in Niger

In the western-ouest part of Zinder (departments of Belbéjji, Damagram takaya, Takieta and Tanout), characterized by a Sahelian-type climate, groundwater is the only source of abstraction to satisfy the various water needs of the (populations, livestock and industries). These resources are fossils and contained in deep

aquifers, thus requiring drilling of great depths (600 to 700 meters) very expensive for the country and its partners. Only after their drillings several works discharge waters with high contents in fluorine and closed for bad quality of the waters destined to the human consumption. The present study deals with the analysis of the presence and the repartition of the high levels of fluorine in the groundwater of this area, in order to better understand the hydrogeological context of the zone and delimit the risky areas in order to optimize future investments. The methodology implemented consists of (i) a bibliographic analysis on the geological and hydrological configuration of the area, (ii) the inventory and characterization of existing structures; (iii) the selection of 34 points and the organization of a water sampling campaign for chemical analyzes in the laboratory. The interpretation of the collected data made it possible to establish that the sources of contamination of the water would be deep and are related to the clay lithology of the main aquifer of the Continental Intercalaire Hamadien (CI/H). This water contamination in fluorine (between 1.48 and 476 mg/L) would be located in the Koundoumawa, Belbéji, Garagoumsa, Kazoé, Midik and Diouta Hausa sectors. A mineralogical study of the aquifer is necessary to specify the depths of the lithological facies with high fluorine content.

Keywords : *hydrology, Fluor, Zinder, Niger, Continental Intercalaire Hamadien.*

1. Introduction

La zone d'étude couvre les départements de Belbéji, Damagaram Takaya, Takiéta et Tanout, au Centre Est du Niger où les eaux de surface sont très limitées à cause des faibles précipitations annuelles et des facteurs climatiques arides [1 - 4]. Pour cela, l'approvisionnement en eau des populations et du cheptel et les besoin pour la petite irrigation dépendent presque exclusivement de l'exploitation des eaux souterraines contenues dans des aquifères profonds du Continental Intercalaire / Hamadien (CI/H), des aquifères discontinus du socle et des nappes localisées des formations argileuses du Damergou et des alluvions du paléo lit de vallée de la Tarka [5, 6]. Les principales contraintes liées à l'exploitation de ces eaux souterraines sont : (i) les faibles débits dans les aquifères phréatiques localisés, (ii) les taux de sondages secs de l'ordre de 49 % dans les aquifères discontinus du socle [7], (iii) les grandes profondeurs des nappes (600 à 700 mètres) dans les aquifères du CI/H, et (iv) surtout la mauvaise qualité des eaux dans certains secteurs à cause des teneurs élevées en certains éléments chimiques (Fluor, Nitrate, Nitrite, etc.). En effet, la présence du Fluor à une faible teneur (inférieure à 0,8 mg/l pour les pays chauds et à 1,5 mg/L pour les pays tempérés) dans l'eau de consommation est nécessaire pour la santé humaine [8], mais à une concentration supérieure, les eaux présentent des risques pour la santé humaine [9]. Il est établi que pour des concentrations comprises entre 1,5 mg/L et 4 mg/L de Fluor, les eaux de boisson peuvent provoquer la fluorose dentaire [10, 11] et pour des teneurs supérieures à 4 mg/L, il y'a risque de fluorose osseuse (Brouwer et al., 1988 cité par [12]). Dans la zone d'étude, des teneurs en Fluor dépassant largement la valeur critique des Normes OMS (1,5 mg/L) sont obtenues dans les eaux de plusieurs ouvrages captant l'aquifère du CI/H et du socle [13, 14]. Ces ouvrages se trouvent donc fermés pour mauvaise qualité des eaux et, des nouveaux forages seront programmés avec le risque de se retrouver dans la même situation [15]. Cela inhibe les efforts de l'Etat et de ses partenaires, et les conditions d'accès à l'eau pour les populations de la zone sont toujours précaires. La présente étude porte sur la teneur en fluor dans les eaux souterraines et ses impacts dans l'alimentation en eau des populations du Nord-Ouest de la région de Zinder, Niger. Elle a pour objectifs d'améliorer les connaissances du contexte hydrogéologique de la zone et de délimiter les secteurs à risques des fortes teneurs en Fluor en vue d'optimiser les futurs investissements. Son approche méthodologique a consisté à l'analyse de la bibliographie sur les contextes géologique et hydrogéologique de la zone d'étude, à l'inventaire des points existant et l'analyse de leurs caractéristiques (coupes lithologiques et techniques, qualité des eaux), aux travaux de terrain pour des prélèvements de 34 échantillons et leurs analyses chimiques au laboratoire. Elle

a permis d'établir que les sources de contamination des eaux seraient profondes et sont liées à la lithologie argileuse du principal aquifère du Continental Intercalaire/Hamadien (CI/H). Ce phénomène de contamination des eaux en Fluor (entre 1,48 et 4,76 mg/L) serait localisé dans les secteurs de Koundoumawa, Belbedji, Garagoumsa, Kazoé, Midik et Diouta Haoussa. Une étude minéralogique de l'aquifère est nécessaire pour préciser les profondeurs des faciès lithologiques à fortes teneurs en fluor. Ces résultats permettront d'optimiser les investissements à venir et de fournir des eaux de bonne qualité à la population de la zone.

2. Méthodologie

2-1. Présentation de la zone d'étude

La présente étude a été menée dans les départements de Belbedji (Tarka), Tanout, Takiéta et Damagaram Takaya, Région de Zinder au centre Est du Niger (*Figure 1*).

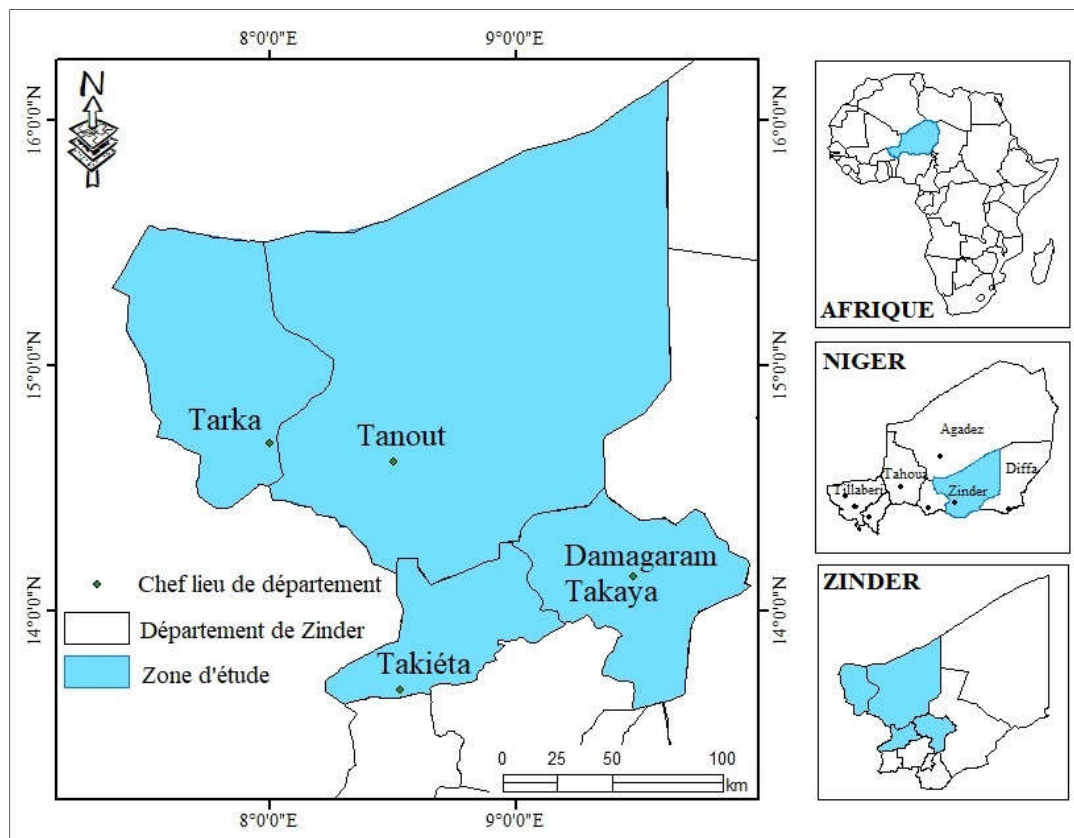


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

Dans la zone d'étude, le climat est de type sahélien (chaud et sec) caractérisé par une saison pluvieuse de quatre à cinq mois, entre juin et octobre, suivie d'une saison sèche pour le reste de l'année. La moyenne pluviométrique annuelle est de 413 mm pour la période de 1975 à 2014 à la station synoptique de Zinder aéroport [15, 16]. La géologie de la zone d'étude est dominée par deux grands ensembles bien distincts : le massif du Damagaram—Mounio au Sud-Est et le seuil de Damergou qui occupe la plus grande partie de la zone d'étude. Les formations géologiques rencontrées des plus anciennes aux plus récentes sont : celles du socle Précambrien (granites, schistes et quartzites), les formations sédimentaires du Crétacé du Continental Intercalaire Hamadien (grés argileux, argile et calcaire marins) et les dépôts sableux du Quaternaires [17].

L'hydrogéologie de la zone d'étude est caractérisée par la présence de deux grands systèmes aquifères : les aquifères continus multicouches du C1/H et les aquifères discontinus du socle. Dans les dépressions, on rencontre des nappes peu profondes et localisées de Damergou et de la haute vallée de la Tarka. Les aquifères discontinus du socle métamorphique et granitique de Damagaram Mounio sont peu profonds (moins de 60 mètres), avec des débits faibles de 0,5 à 5 m³/h. Ils sont essentiellement exploités pour les besoins de l'hydraulique villageoise et pastorale (DRH/Zr, 2008 cité par [17]). Dans la zone d'étude, le système aquifère du C1/H est constitué des niveaux lithologiques suivants, du haut en bas, [5, 6] :

- Une couche superficielle d'une dizaine de mètres, de sables éoliens et des grès fins du Quaternaire ;
- Une succession de couches des grès fins à moyens argileux et parfois conglomératiques de la série de Farak du groupe Cénomaniens du Crétacé supérieur ;
- Une succession des couches des grès moyens à grossiers argileux et contenant des conglomérats de la série d'Echkar du groupe de Tégama du Crétacé inférieur.

Des variations latérales de Faciès, avec biseautage et même disparition de certains horizons sont observées dans la zone. Dans les niveaux gréseux qui contiennent l'essentiel des nappes du C1/H, les eaux peuvent avoir entre 45 et 450 ppm de Fluor et dans les niveaux d'argiles jusqu'à 800 ppm de Fluor [18]. La profondeur du toit de l'aquifère du C1/H varie de 120 mètres dans le secteur Sud de la zone d'étude à plus de 600 mètres au Nord. Les débits d'exploitation sont assez élevés (plus de 40 m³/h) avec un niveau statique moyen de 50 mètres. L'aquifère localisé de Damergou est constitué des argiles, de silts, de marnes et des grès fins peu perméables, il est présent seulement dans la partie Nord de la zone d'étude (Département de Tanout). La nappe est exploitée seulement par des puits à cause de ses débits très faibles (1 à 2 m³/jour). L'aquifère alluvial de la haute vallée de Tarka est constitué des alluvions sableuses provenant de l'érosion des formations du Continental Intercalaire. La nappe est exploitée par des puits dont les profondeurs varient de 25 à 35 mètres, avec des débits spécifiques moyens entre 0,5 et 2 m³/h. La présente étude porte essentiellement sur la nappe du C1/H exploitée généralement avec des forages profonds pouvant donner des débits élevés pour les besoins de l'alimentation des grandes villes. Cependant, quelques ouvrages captant les nappes discontinues du Socle ont également fait l'objet des prélèvements des échantillons des eaux.

2-2. Matériel

Les outils et des données utilisés sont indiqués dans le *Tableau 1*.

Tableau 1 : Outils et données utilisés

	Outils	Données
Matériels de terrain	Sonde sonore lumineuse, pH-mètre, Conductivimètre, Flacons de 500 ml et pissette.	Des cartes géologiques et hydrogéologiques, des thèses, mémoires, rapports, Résultats des analyses physico-chimiques et des coupes lithologiques de forages.
Equipements de laboratoire	Spectrophotomètre de type DR2800, Photomètre à flamme(JENWAY), Digital titrator	
Logiciels	Word, Excel, ArcGis 9.3, Diagramme	

2-3. Méthodologie

La méthodologie suivie pour la conduite de l'étude comprend quatre (4) étapes, à savoir :

1. L'identification des ouvrages (puits et forages existant dans la zone d'étude, analyse de leurs coupes géologiques et des paramètres chimiques de leurs eaux, sélection de trente-quatre (34) ouvrages (26 puits et forages captant les aquifères multicouches du Continental Intercalaire /

- Hamadien (Cl/H) et 8 captant les nappes discontinues du socle du Damagaram Mounio) pour les prélèvements des échantillons d'eaux, pour des nouvelles analyses chimiques.
2. La conduite sur le terrain d'une campagne d'échantillonnage sur les ouvrages sélectionnés. Le protocole d'échantillonnage a consisté à des prélèvements dans des flacons polyéthylène de 500 ml, rincés à l'eau des ouvrages, après un court pompage pour vidanger l'eau de la colonne d'exhaure [19, 20]. Les prélèvements sur les puits ont été réalisés avec les mêmes types des flacons, remplis à l'aide d'une pissette. Les paramètres physiques des eaux des nappes (température, pH et conductivité) ont été mesurés in-situ et les échantillons conservés au frais et ont été transportés au laboratoire d'analyses des eaux de la Direction Régionale de l'Hydraulique et de l'Assainissement de Zinder.
 3. Les travaux de laboratoire pour la détermination des paramètres chimiques des échantillons d'eaux prélevés. Les teneurs des ions chimiques à savoir, NO_2^{2-} , NO_3^- , Fe, SO_4^{2-} et F⁻ ont été déterminées par spectrophotométrie, et celles des ions Na^+ et K^+ à l'aide d'un spectrophotomètre à flamme. Le TAC et les teneurs en Ca^{2+} ont été déterminés par titrimétrie et les ions Cl⁻ par la méthode de Mohr.
 4. L'analyse et l'interprétation des données à l'aide du logiciel ArcGis 9.3 et des tableurs (Excel et Access) ont permis d'établir des graphiques, des cartes thématiques de répartition spatiale et des profils de corrélation montrant les profondeurs des niveaux aquifères captés et leurs teneurs en Fluor. La méthode de représentation graphique de Piper a été utilisée pour déterminer les faciès chimiques des eaux échantillonnées.

3. Résultats et discussion

3-1. Caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines de la zone

Les valeurs des paramètres physiques et les résultats analytiques des échantillons d'eaux des nappes du Continental Intercalaire / Hamadien et des nappes discontinues du Socle granitiques ont respectivement présentés dans les **Tableaux 2 et 3**. Ils indiquent que :

- Pour les 26 échantillons des eaux des nappes du Cl/H, les eaux sont faiblement minéralisées avec des valeurs de conductivités comprises entre 116 et 487 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Les valeurs de pH varient de 6,3 à 9,1 Unités pH, avec une prédominance des eaux basiques, indiquant un milieu alcalin. Les températures des eaux dans ces nappes sont assez élevées et varient de 31,1 à 38,1°C. Ces caractéristiques physico-chimiques montrent que les eaux sont sous saturées en éléments chimiques et sont donc favorables à la dissolution de sels de fluorure [8]. Les teneurs des ions chimiques dans les eaux des nappes du Cl/H et leur représentation dans le diagramme de Piper (**Figure 2**), montrent que ces eaux sont essentiellement de faciès bicarbonaté ou calcique en conformité avec ce qui a été déjà établis pour les eaux de ces mêmes nappes dans la partie Nord-ouest de la région de Tahoua, [21].
- Pour les 8 échantillons représentant les eaux des nappes discontinues du socle granitique, on note que les charges ioniques sont plus élevées, avec des valeurs des conductivités variant entre 303 et 2 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Les eaux sont plus acides avec des fortes concentrations en HCO_3^- (180,6 à 478 mg. L⁻¹). Les valeurs de la température comprises entre 30,4 et 33,8°C sont proches de la température moyenne atmosphérique de la zone, [17, 22]. La prédominance ionique, semblable à celle observée dans les eaux du Cl/H de la zone d'étude, est pour les cations, $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$ et pour les anions $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$. Les eaux des nappes discontinues du Socle sont de faciès chimiques bicarbonaté calcique et magnésien (**Figure 3**).

Tableau 2 : Paramètres physiques et résultats des analyses chimiques des eaux du CI / H

Nom	Libellé	T°	pH	COND	Ca	Na	K	Mg	Cl	SO4	F	Fe	HCO3	NH4	Mn	NO3	NO2	Balance %
Mai Guiyay	Forage	33,4	8,73	234	16,25	29,75	1,5	2,3	14,2	25	1,19	0,02	98	0	0	3,52	0,0066	-6%
Kada	PC	32,7	7,6	266	24,2	20,4	6,75	6,804	14,2	0	0,59	0,04	123,25	0	0	3,96	0,0198	6%
Oualalléou	Forage	34,2	8,91	179,7	15,25	19,5	4,75	0,972	4,26	0	1,03	0,02	113	0	0	3,52	0,0429	-7%
Dan Kamsa	PC	35,3	7,5	487	32	40	11,75	3,888	24,14	72	0,43	0,9	141	0	0	3,08	0,0099	-7%
Belbédji Mi	Forage	32,4	8,85	339	28,4	32,5	1,25	0,243	15,25	27	3,26	0,01	126	0	0	1,76	0,0099	-6%
Gangara M	Forage	36,9	8,85	293	8,4	50,5	1	3,888	12,78	32	0,73	0,01	138,5	0	0	3,52	0,0297	-7%
Samia Mini	Forage	34,8	8,95	247	11,2	41,75	3,75	1,458	17,04	26	0,89	0,02	114,44	0	0	2,64	0,0066	-7%
Falénko Illa	Forage	35,3	9,01	287	22,4	26,75	9,25	2,916	26,98	11	0,12	0,03	126,88	0	0	3,08	0,0132	-6%
Dan Gao Pu	PC	31,5	7,18	197,4	17,6	21,5	5	0,972	9,94	10	0,22	0,06	100,04	0	0	8,8	0,125	-6%
Falénko Illa	PC	34,1	7,94	356	12,4	45,75	1,25	2,916	11,36	37	0,99	0	130	0	0	2,2	0,0198	-7%
Yagagi Fora	Forage	34,8	9,11	252	11,4	43,85	2,5	5,832	9,94	8	1,14	0,02	176,85	0	0	2,2	0,0099	-7%
Sabon Kafi	Forage	36,6	8,86	397	16	54,75	1	4,374	10,5	86	0,64	0,01	114,2	0	0	4,84	0	-7%
Bakin Birgi	Forage	34,3	7,02	147	15,6	18,5	4,25	1,215	8,52	0	0,41	0,02	100,04	0	0	7,92	0,0132	-6%
Dan Barko	PC	34,6	7,34	420	38,4	29,75	4	0,972	8,52	8	0,13	0,01	164,4	0	0	38,28	0,1056	-5%
Dan Kamsa	Forage	38,1	9,05	265	15,25	27,25	1,25	3,888	9,94	25	0,93	0,01	104,2	0	0	3,96	0,0462	-7%
Zangon Alg	Forage	32,5	6,94	136,2	15,2	14,75	4,25	0,243	14,2	13	0,46	0	58,56	0	0	3,52	0,0099	-6%
Bakin Birgi	PC	32,4	6,73	136	9,4	12,75	7	5,832	4,26	0	0,41	0,04	95,16	0	0	6,16	0,0099	-3%
Koundoum	PC	33,4	7,2	362	31,2	23,75	7,5	0,486	21,3	22	2,92	0,01	105,4	0	0	17,16	0,27	-7%
Koundoum	Forage	32,8	7,03	320	16	35,75	5,5	1,944	17,04	21	4,76	0	100,88	0	0	13,64	0,0594	-7%
Garagoums	Forage	32,6	6,57	153,6	11,2	6,25	10,5	5,832	17,04	8	1,56	0,02	46,36	0	0	12,76	0,462	-4%
Takiéta Mir	Forage	34,4	6,35	162	20,8	14	9	5,832	17,04	0	0,5	0	112,24	0	0	21,56	0,0066	-7%
Guidan Ang	PC	31,1	6,53	136	16	14,72	8,75	6,804	11,36	0	0,23	0,01	63,92	0	0	44,44	0,1419	3%
Tawalala P	PC	33,8	7,18	116	8	18,75	20	1,944	7,1	2	0,69	0,15	78,08	0	0	15,4	0,8844	2%
Garagoums	PC	34,4	6,62	159	14,4	11	11,75	6,804	8,52	8	0,94	0,05	73,2	0	0	11,88	0,1155	5%
Takiéta PC	PC	31,4	6,87	177,5	20	23,75	9,75	0,486	9,94	0	0,27	0,44	114,2	0	0	5,28	0,0396	1%
Diouta Hau	Forage	31,5	8,4	197,6	9,6	52	5	2,916	31,24	2	1,48	0,02	117,12	0	0	3,96	0,033	2%

Tableau 3 : Résultats des analyses physico-chimiques des eaux de l'aquifère du socle

Nom	Libellé	T°	pH	CE	Ca	Na	K	Mg	Cl	SO4	F	Fe	HCO3	NH4	Mn	NO3	NO2	Balance (%)
Kassama	PC	32,2	6,92	863	97,6	64,3	4	4,9	42,6	30	0,74	0	366	0	0	88	0,003	6
Midik	PC	30,7	6,92	559	43,2	34,5	7,5	27,2	29,8	2	1,49	0,01	346	0	0	17,6	0,07	6
Damagaram	PC	33,8	6,8	303	41,6	5,5	24,5	9,7	4,3	2	0,16	0,04	181	0	0	16,7	0,452	5
DamagaramTakaya	Forage	33,8	6,8	1026	113,6	68,5	6,75	10,7	46,9	80	0,95	0,14	365	0	0	125,4	0,2	6
Bourbourwa	Forage	30,4	6,7	806	91,2	47,5	3,75	9,2	27,0	42	0,59	0,4	300	0	0	123	0,02	7
Kassama	Forage 7	32,7	7,37	431	62,4	29,4	4,25	11,7	22,7	10	0,51	0	278	0	0	11,9	0,5	2
Midik	Forage	31,3	7,54	542	56	46,0	88	17,5	113,6	1	1,03	0,14	365	0	0	10,12	0,01	5
Kazoé	Forage	30,8	7,35	2650	41,6	400,0	2,015	23,3	125,0	248	1,50	0,04	478	0	0	130,7	0,1	7

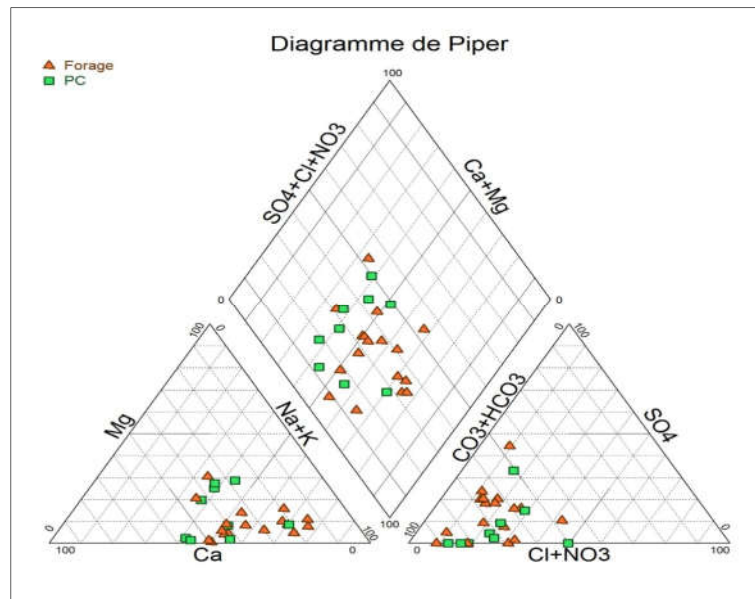


Figure 2 : Diagramme de Piper pour les eaux du Cl / H

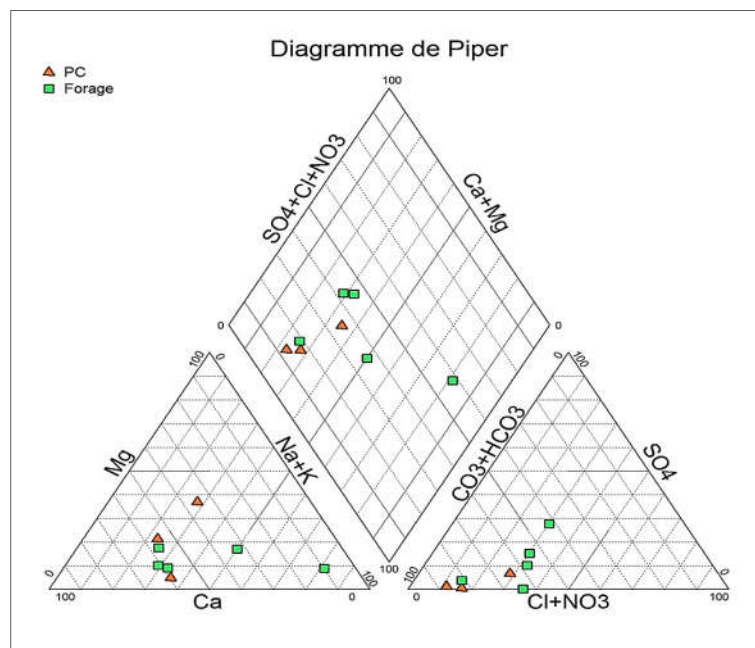


Figure 3 : Diagramme de Piper pour les eaux du Socle

3-2. Répartition spatiale de la pollution fluorée dans les eaux souterraines de la zone

Pour les eaux du système aquifère du Cl/H, les teneurs en Fluor varient de 0,12 à 4,76 mg / L. 12 des 26 ouvrages ont des valeurs en Fluor supérieures à la norme admise pour les eaux de consommation dans les pays chauds (cas du Niger) et, pour 6 autres ouvrages, les valeurs dépassent les normes tolérées pour les pays tempérés, [8, 9, 23]. La distribution spatiale des ouvrages échantillonnés (*Figure 4*) montre que les points d'eau ayant des teneurs élevées en Fluor se regroupent sur trois (3) pôles, à savoir : (i) les villages de Belbedji au Nord-Ouest, (ii) Falenko IIIa et (iii) Koudoumaoua plus au Sud dans le biseau sec de la nappe du Cl/H. Par ailleurs, plusieurs autres ouvrages réalisés dans ces mêmes secteurs dans le cadre des programmes d'hydraulique villageoise ont été fermés à cause des taux élevés en Fluor [14]. Les eaux de ces nappes étant

sous saturées en éléments chimiques dans des systèmes aquifères avec des niveaux argileux, on peut présager que le Fluor proviendrait du lessivage naturel des formations géologiques captées par les ouvrages, [18]. L'analyse des profondeurs et de la lithologie et des niveaux captés par les différents ouvrages pourra permettre de confirmer cette hypothèse. Pour les eaux des nappes discontinues du socle cristallophyllien, la carte de répartition spatiale des ouvrages (**Figure 5**) indique que les secteurs concernés par les fortes teneurs en fluor sont autour des villages de Birni'N Kazaoé à l'extrême Est et de Midik à l'Ouest. Ces nappes étant discontinues et de faible profondeur, les origines des éléments du Fluor pourraient être locales et liées à des formations plutoniques (granites récents) sub affleurant à travers les accidents constituant les aquifères du socle. En effet, dans un même périmètre, les teneurs en Fluor des eaux varient très rapidement dans les ouvrages de profondeurs équivalentes, cas des forages du village de Tis, dans le secteur de Midik [16]. Ce qui confirme l'influence de la lithologie des niveaux captés.

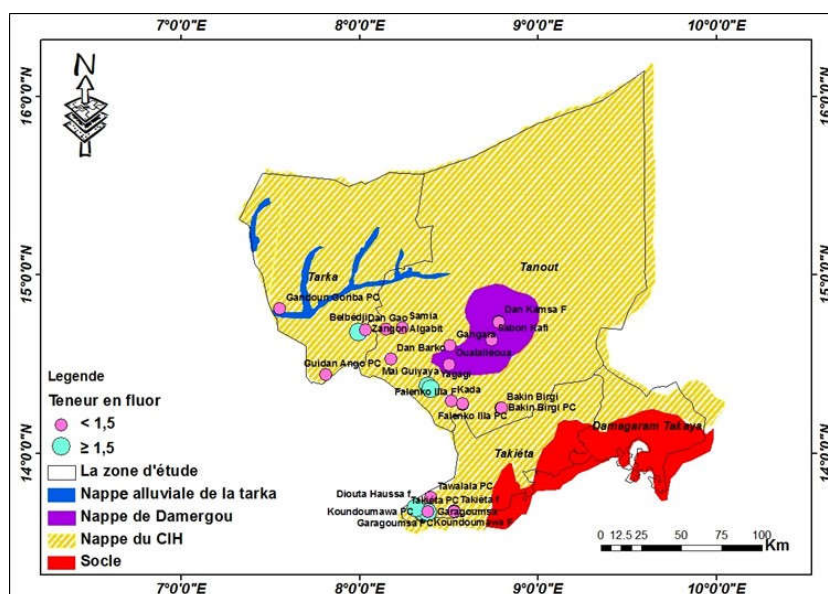


Figure 4 : Carte de répartition spatiale de la teneur en fluor du CI/H

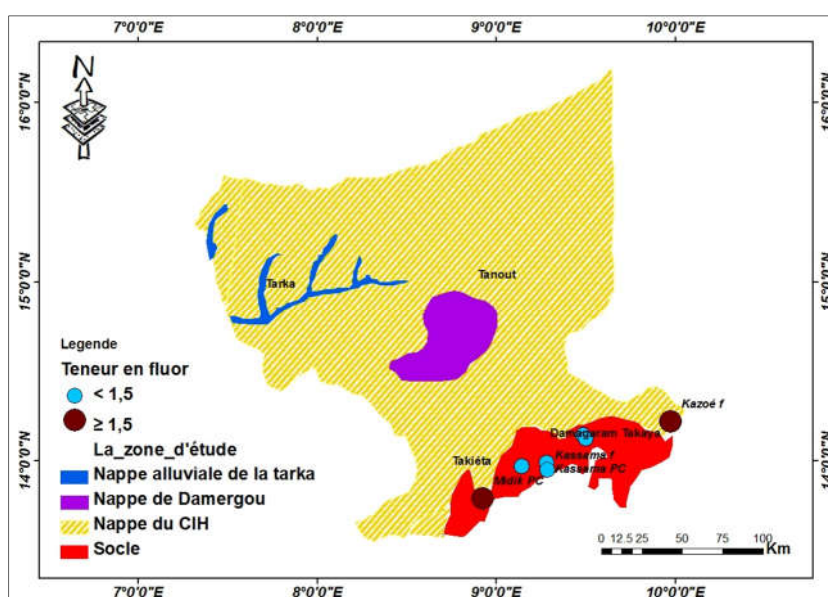


Figure 5 : Carte de répartition spatiale de la teneur en fluor de l'aquifère discontinu du socle

3-3. Relation teneurs en fluor des eaux vs profondeurs des ouvrages

Le **Tableau 4** donne les profondeurs totales des 10 ouvrages captant la nappe du CI/H et les teneurs en Fluor des eaux correspondantes. Il n'apparaît une certaine corrélation entre les deux paramètres [24]. En effet, l'analyse des coupes lithologiques sur ces ouvrages, indiquerait que les teneurs en Fluor seraient plutôt liées à la nature géologique des niveaux captés.

Tableau 4 : *Variation de la teneur en fluor en fonction de la profondeur*

Villages	Ouvrages	Profondeurs des ouvrages (en m)	Teneurs en fluor (en mg/L)
Bélbedji	F ₁	108	0,2
	F ₂	501	3
GuidanAngo	F ₁	56,5	0
	F ₂	516	5,15
Koundoumawa	F ₁	52	0,6
	F ₂	62	4,76
Garagoumsa	F ₁	62	0,6
	F ₂	80	3,06
Djéouta Haoussa	F ₁	69	1,22
	F ₂	125	1,46

3-4. Lithologie des niveaux aquifères et teneurs en fluor des eaux des forages

L'évolution des teneurs en fluor le long du profil de corrélation géologique établi à partir des coupes lithologiques des ouvrages (**Figure 6**), montre que ce sont les ouvrages profonds (plus de 500 mètres), captant les niveaux plus argileux qui présentent des teneurs élevées en Fluor. Ce qui corrobore l'hypothèse des apports des éléments du Fluor à partir des faciès argileux de l'aquifère du CI/H [18].

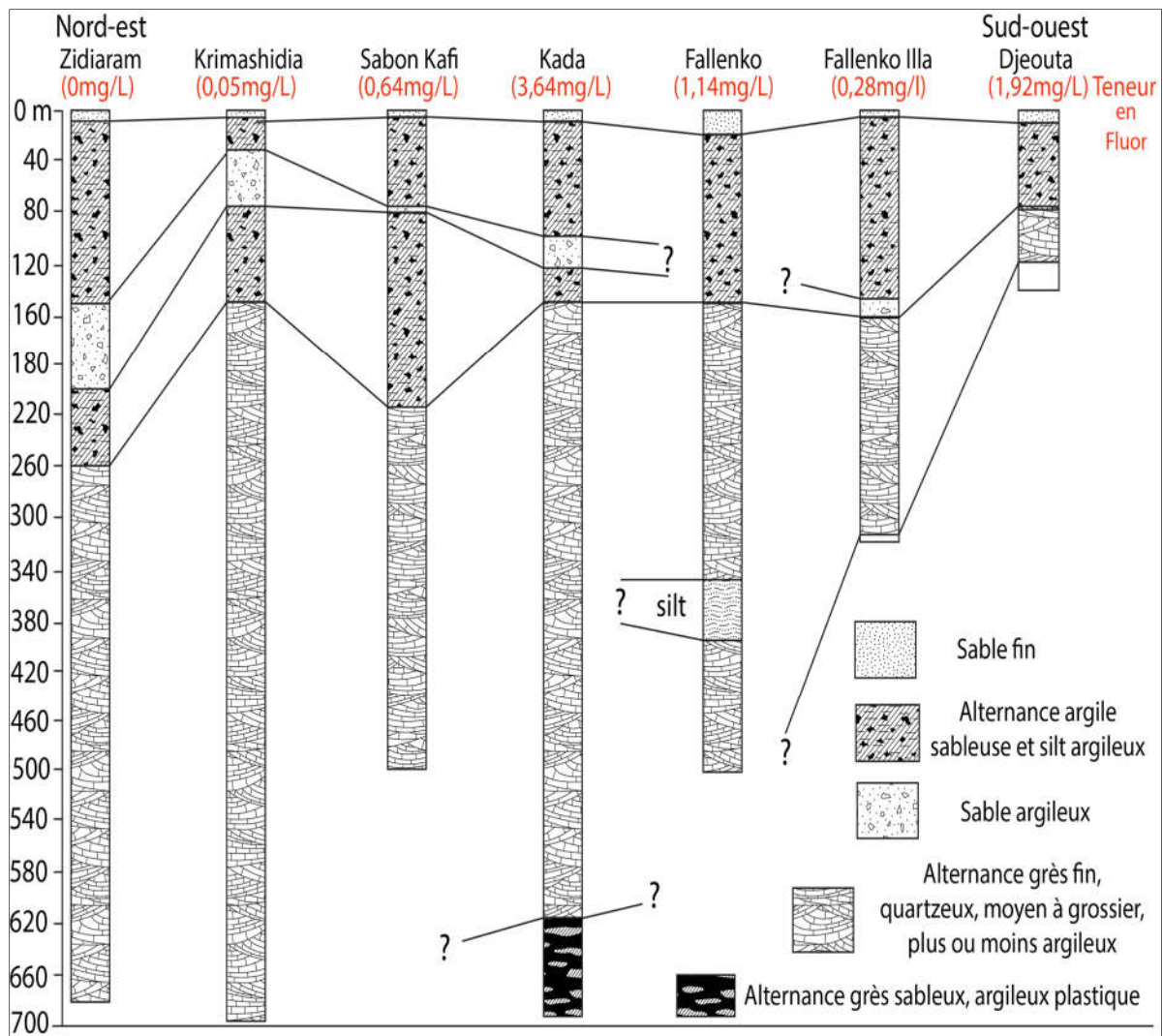


Figure 6 : Évolution des teneurs en fluor dans les eaux suivant la lithologie des nappes du Cl/H

3-5. Évolution temporelle des teneurs en fluor des eaux des forages de la zone

Les teneurs en Fluor des eaux obtenues en 2014 et 2016 (présente étude) ont été comparées pour 12 forages de la zone. (Figure 7). On relève que :

- Pour les ouvrages dont les valeurs étaient supérieures à 1 mg/L en 2014, les eaux se sont enrichies en Fluor ou dans une moindre mesure, les valeurs sont restées constantes. Les variations les plus sensibles concernent les teneurs en Fluor les plus élevées en 2014 ;
- Sur les ouvrages ayant en 2014 des faibles valeurs en Fluor (inférieures à 1 mg / L), les eaux se sont plutôt appauvries avant 2016.

L'analyse des coupes lithologiques et techniques des ouvrages laisse présager que l'évolution des teneurs en Fluor dans les eaux serait aussi liée à l'épaisseur des captages dans les niveaux argileux. En effet, dans les ouvrages qui captent les niveaux plus argileux des aquifères profonds du Cl/H, les eaux ont toujours des valeurs élevées en fluor et celles va en augmentant dans le temps. L'exploitation continue de ces ouvrages élevés accentuerait le phénomène de lessivage des formations géologiques et par conséquent contribue à la concentration des eaux en Fluor. Mais sur les forages qui ont un niveau de pénétration faible dans la nappe, les eaux sont moins chargées en Fluor dont la teneur évolue très peu dans le temps, la zone d'influence des pompages est réduite.

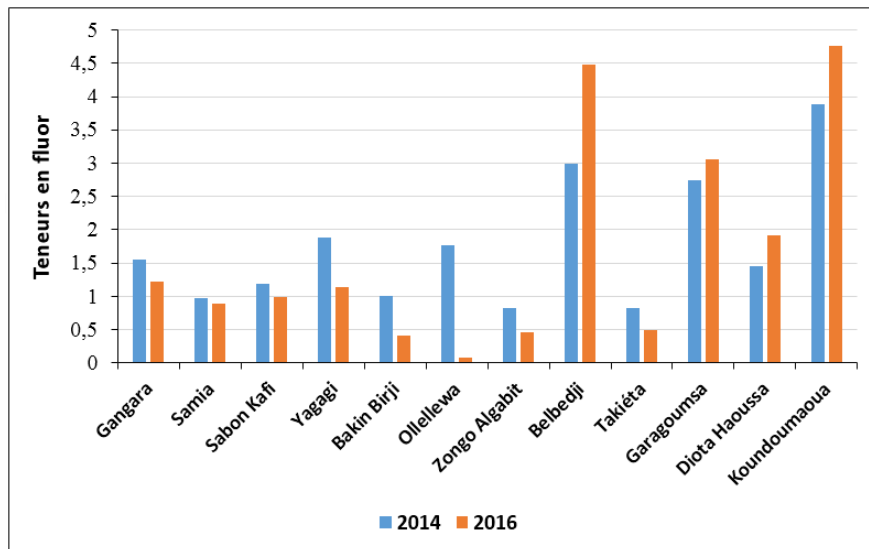


Figure 7 : *Évolution temporelle de la teneur en fluor de la nappe du CI/H de 2014 à 2016*

4. Conclusion

La présente étude a permis de délimiter les secteurs à risque des eaux à fortes teneurs en Fluor pour les deux systèmes aquifères de la zone d'étude (les aquifères du Continental Intercalaire Hamadien et les aquifères du socle cristallophyllien). La source des ions de Fluor ne serait pas liée à la profondeur des ouvrages, mais plutôt à la lithologie argileuse des niveaux aquifères captés dans les secteurs à risques. Pour les aquifères du CI/H, les profondeurs des niveaux argileux sont identifiées sur le profil de corrélation établi. Aussi, vu que 1/3 des points d'eau captant l'aquifère du CI/H et 44 % pour les eaux des nappes du socle présentent des teneurs excessives en Fluor, et que leurs eaux présentent des risques sanitaires [9], ces résultats permettront d'optimiser l'implantation et la réalisation des nouveaux ouvrages dans la zones en vue de garantir des eaux de bonne qualité pour les populations. Cependant, une étude minéralogiques des niveaux aquifères, particulièrement dans les dépôts du Continental Intercalaire Hamadien est nécessaire pour mieux maîtriser les risques de captage des niveaux argileux.

Références

- [1] - Inqua-Asequa, Symposium International, « Changements globaux en Afrique durant le Quaternaire : Passé-Présent-Futur ». Dakar, du 21 au 28 avril 1986, Consulté en octobre 2017 sur: http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_5/pt5/travaux_d/23941.pdf
- [2] - S. ARDOIN-BARDIN, « Variabilité hydro climatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrogéologiques en zone soudano-sahélienne ». Thèse de doctorat, université de Montpellier, 2 (2004) 437 p.
- [3] - P. OZER, C. BODART et B. TYCHON, « Analyse climatique de la région de Gouré. Niger oriental : récentes modifications et impacts environnementaux ». *European Journal of Geography*, 308 (2005), Consulté le 14 octobre 2017. <http://cybergeog.revues.org/3338>
- [4] - P. OZER, Y. C. HOUNTONDI, A. J. NIANG, S. KARIMOUNE, O. LAMINO MANZO et M. SALMON, « Desertification au Sahel : *Historique et perspectives* », *BSGLg*, 54 (2010) 69 - 84

- [5] - J. GREIGERT, « Atlas des eaux souterraines de la République du Niger. Etat des connaissances ». *Rapport BRGM, 79 AGE001*, Orléans, France, (1972)
- [6] - J. GREIGERT, « Atlas des eaux souterraines du Niger, Etats des connaissances », *Centre des Recherches Géologiques et Minières*, (Mai 1978) 79 p.
- [7] - B. OUSMANE, « Etude géochimique et isotopique des aquifères de la bande sahélienne du Niger (Liptako, Sud Maradi, et Zinder Est) ». *Thèse de doctorat-ès sciences naturelles, Université Abdou Moumouni de Niamey*, (1988) 182 p.
- [8] - P. MAZET, « Les eaux souterraines riches en fluor dans le monde. Rapport de stage, DEA, Sciences de l'eau dans l'environnement continental ». *Maison des sciences de l'eau de Montpellier UMR 5569 Hydrogéosciences CNRS-UMII-IRD*, (2002) 45 p.
- [9] - WHO, « Guidelines for drinking-water quality », 3rd Edi. *Incorporating the first and second Addenda. Recommendations*, Vol. 1, (2008)
- [10] - S. JORDANA and E. BATISTA, « Natural groundwater quality and health ». *GeologicaActa : an international earth science journal*. Université de Barcelone-España, Vol. 2, N°2 (2004) ISSN: 1695 - 6133
- [11] - L. MATINI, J. M. MOUTOU et M. S. KONGO MONTONO, « Evaluation hydrochimique des eaux souterraines en milieu urbain au sud-ouest de Brazaville, Congo », dans revue *Afrique Science*, 05 (1) (2009) 82 - 98
- [12] - H. AMADOU, M. S. LAOUALI et A. S. MANZOLA, « Application des méthodes d'analyses statistiques multi variées à l'étude de la minéralisation des eaux de la zone de Zinder (Sud-Est du Niger) ». *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 8 (4) 1904 - 1916, August 2014 ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print)
- [13] - DRH/A/Zr, « Monographie régionale Zinder », (2008) 14 - 50 p.
- [14] - DRH/A/Zr, « Étude Complémentaire en vue de l'évaluation de la qualité des eaux souterraines dans la Région de Zinder », (2009) 17, 23 - 31 p.
- [15] - PDR/Zr, « Plan de développement régional de Zinder », (2016)
- [16] - I. SANDAO, M. S. ABDOU BABAYE, B. OUSMANE ET J. L. MICHELOT, « Apports des isotopes naturels de l'eau à la caractérisation des mécanismes de recharge des aquifères du bassin de la Korama, Région de Zinder, Niger ». *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 12 (4) 1931 - 1954, August 2018, <http://ajol.info/index.php/ijbcs>
- [17] - M. S. ISSA, « Problématique de l'approvisionnement en eau de la région de Zinder ». *Mémoire de master en Hydrogéologie à l'Université Abdou Moumouni de Niamey*, (2013) 61 p.
- [18] - BRGM, Le fluor dans l'eau de boisson, (1973) 20 p.
- [19] - F. GUILLAUME et L. CHRISTIAN, « Représentativité de l'échantillonnage géochimique et hydrodynamique en nappe libre de milieu semi-aride ». *In Journal of hydrology*, 31 (4) (200) 669 - 678 p.
- [20] - NABIL MDIKER et al., Contribution à l'étude de la salinisation de la nappe côtière de sahel El Haouzia d'El Jadida au Maroc, dans Revue *Afrique Science*, 05 (2) (2009) 232 - 245
- [21] - A. K. HASSANE SALEY, « Évaluation des ressources en eau de l'aquifère du Continental Intercalaire/Hamadien de la région de Tahoua (bassin des lullemeden, Niger) : impacts climatiques et anthropiques ». *Thèse de doctorat, Université Paris-Sud et Université Abdou Moumouni de Niamey-Niger*, (2018) 295 p.
- [22] - M. S. ABDOU BABAYE, I. SANDAO, M. B. SALEY, I. WAGANI et B. OUSMANE, « Comportement hydrogéochimique et contamination des eaux des aquifères fissurés du socle précambrien en milieu semi-aride (Sud-Ouest du Niger) ». *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 10 (6) (2016) 2728 - 2743
- [23] - C. K. DIAWARA, H. ESSI-TOME, A. LHASSANI, M. PONTIE et H. BUISSON, « Filtrations membranaires et qualité de l'eau de boisson en Afrique : cas du fluor au Sénégal », (2005)
- [24] - S. BEN DOYEN, « Contribution à l'étude de l'hyper-fluoruration des eaux souterraines de région d'El-Oued (Souf) et ses conséquences sur la santé humaines ». *Mémoire de master en hydraulique*, (2015) 35 p.