

Qualité des Eaux Souterraines des Aquifères de la Région Orientale du Sahara Septentrional Algérien

*Nora BOUCHAHM & **Samia ACHOUR.

*Attachée de recherche au CRSTRA, Algérie

** Laboratoire de recherche (LARHYSS) Université de Biskra, Algérie

RESUME

L'objectif de cette étude est de donner un aperçu sur la qualité des eaux souterraines de la région du Sahara septentrional ainsi que de faire le point sur un élément particulier, le fluor. Nous avons donc choisi de commencer par la région orientale du Sahara septentrional, dans les régions de Ouargla, El Oued, Touggourt et Biskra. Nous avons entamé une campagne d'échantillonnage d'eaux souterraines dans ces régions et le prélèvement des échantillons d'eaux a touché tous les niveaux aquifères, que ce soit dans le complexe terminal ou le continental intercalaire. Nous avons déterminé en laboratoire les paramètres physico-chimiques des échantillons d'eaux prélevés. Les résultats de ces analyses sont interprétés et comparés aux normes de qualité des eaux potables établies par les organisations mondiales de la santé publique. Nous avons tenté de mieux faire apparaître l'évolution des concentrations des différents éléments minéraux ainsi que le fluor par leur présentation en cartes d'isoteneurs en ces éléments.

Mots clés : Hydrochimie, minéralisation, fluor

SUMMARY

The objective of this study is to give an outline on the quality of subsoil waters of the area of the northerner Sahara and giving a progress report on a particular element, the fluorine. We thus chose to start with the Eastern area of the northerner Sahara, in the areas of Ouargla, El Oued, Touggourt and Biskra. We started a subsoil water sampling campaign in these areas and the test sample selection of water touched all the aquiferous levels, whether it is in the final complex or the continental guide. We determined in laboratory the physicochemical parameters of the taken water samples. The results of these analyses are interpreted and compared with the standards of quality of drinking waters established by the World Health Organizations public. We tried to better reveal the evolution of the concentrations of the various biogenic salts as well as fluorine by their presentation in charts of these elements.

Key words: Hydrochimy, mineralisation, fluorine

I. INTRODUCTION

Dans les pays en voie de développement à climat aride, le rôle des eaux souterraines est d'autant plus important qu'elles constituent souvent la seule source d'approvisionnement en eau potable et sont donc vitales pour le développement de ces pays (TRAVI, 1993).

Pour le Sahara septentrional algérien, l'essentiel des ressources est constitué par les eaux souterraines. Ces dernières, contenues dans les formations continentales du continental intercalaire (C.I) et du complexe terminal (C.T) constituent l'un des plus vastes réservoirs hydrauliques du monde (BEL et CUCHE, 1970 ; CDTN, 1992), dont les potentialités mobilisables sont estimées à 5 milliards de mètres cube d'eau (ANRH, 1986).

Les conditions lithologiques, hydrodynamiques et hydro chimiques sont variées, notamment dans la partie Est de la région, et confèrent de ce fait un intérêt particulier à ces nappes (ERESS, 1972). Par ailleurs, diverses études entreprises depuis une trentaine d'années, ont montré que les eaux de cette région sont caractérisées par une minéralisation totale excessive, le plus souvent associée à une dureté élevée et des concentrations élevées en fluorures (ACHOUR, 1990 ; AZOUT et ABRAHAM, 1978 ; PINET et al., 1961).

La découverte de nombreux foyers de fluorose dentaire et osseuse dans

différentes régions explique l'intérêt porté, depuis le début du siècle, à la présence du fluor dans les eaux naturelles. Outre qu'ils réduisent le nombre de caries dentaires, les fluorures sont rapidement fixés par l'os, qualité pour laquelle le fluor est utilisé pour soigner les individus atteints d'ostéoporose (O.M.S, 1985).

Mais l'ingestion excessive de fluorures dans quelques régions (DEAN, 1942 ; BOUARICHA, 1971 ; TRAVI et LECOUSSEUR, 1982) a montré que cet effet bénéfique peut s'inverser et porter atteinte à la santé publique, ce que l'on désigne par la fluorose dentaire et plus gravement fluorose osseuse.

En Algérie, le Sahara septentrional et notamment la zone orientale constitue la région la plus exposée au risque fluoritique (AZOUT et ABRAHAM, 1978 ; I.N.S.P, 1980).

Le principal objectif de cette étude est de donner un aperçu sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines du Sahara septentrional algérien. Grâce à un échantillonnage suffisamment représentatif de la nature des eaux de la région orientale, aussi bien les eaux destinées à l'alimentation en eau potable que les eaux d'irrigation.

Nous sommes plus particulièrement attardés sur la présence d'un excès en ions fluorures dans les eaux de nappes les plus exploitées.

II. METHODOLOGIE

II. 1 Echantillonnage

La campagne d'échantillonnage a concerné les régions de Ouargla, Touggourt, El Oued, Biskra, les principales zones urbaines de la région orientale du Sahara septentrional. Nous avons choisi de prélever des échantillons à chaque niveau aquifère exploité (nappe phréatique, nappe des sables ou du Miopliocène, nappe des calcaires ou du Sénonien et nappe Albienne). Les prélèvements, au nombre de 118 ont été effectués manuellement dans des flacons en matière plastique de 1000 cm³ de capacité. Lorsqu'il s'agit d'un forage destiné à l'irrigation, l'échantillon est pris directement à la tête du forage. Mais lorsqu'il s'agit d'un château d'eau la javellisation est arrêtée, la conduite est vidangée pour que l'échantillon soit représentatif de l'eau du forage (TABOUCHE, 1999). La conductivité et la température ont été mesurées in situ chaque fois qu'il a été possible. L'échantillon doit toujours être parfaitement identifié et porter le code du forage, la date, et si possible la profondeur et le niveau aquifère.

II. 2 Méthodes analytiques

Nous avons effectué les analyses physico-chimiques des échantillons d'eaux au sein du laboratoire Qualité et traitement des eaux souterraines et de surface "LARHYSS". Les procédures de dosage sont déduites des méthodes d'analyse standard. La conductivité est déterminée grâce à un conductimètre électrique (WEILHEIM LF 90) qui donne directement la conductivité de

l'échantillon, à la température adoptée (25°) en ms/cm ou en µs/cm.

Les duretés totale et calcique des échantillons sont déterminées par compléxométrie, par titrage avec l'acide éthylène-diamine-tétracétique (EDTA)

La mesure de l'alcalinité est basée sur la neutralisation d'un certain volume de l'échantillon par l'acide sulfurique (N/50).

Les chlorures sont déterminés par la méthode de Mohr (RODIER, 1984) et les sulfates par lecture de l'absorbance à $\lambda = 420$ nm pour une suspension obtenue par réaction des sulfates avec le chlorure de baryum.

Le sodium et le potassium sont dosés par photométrie à émission de flamme sur appareil JENWAY PFP7.

Le fluor est dosé par la méthode potentiométrique grâce à une électrode spécifique aux ions fluorures (ISE 944098/11). L'établissement de courbes d'étalonnage reliant les concentrations de l'ion fluorure au paramètre mesuré a été nécessaire.

Une gamme variée de méthodes analytiques a dû donc être utilisée pour les différents essais expérimentaux, en passant des méthodes titrimétriques, aux méthodes électrochimiques ou spectroscopiques.

III. Résultats :

Les résultats des analyses physico-chimiques sont présentés en tableaux dont nous proposons quelques exemples et cela pour toutes les régions concernées par la campagne ainsi que tous les niveaux aquifères exploités dans ces dernières.

Tableau 1 : Analyses physico- chimiques des eaux souterraines de la région d'étude

localités	Nature de la nappe	désignation	Coductivité Ms/cm	pH	TH °F	Ca2+ Mg/l	Mg2+ Mg/l	Na+ Mg/l	K+ Mg/l	HCO3- Mg/l	Cl- Mg/l	SO42- Mg/l	F- Mg/l
Ouargla	Phréatique	P121	4.46	8.20	188	363	235	591	21	198	1874	2302	1.07
		P118	6.45	8.05	194	505	164	1134	30	1032	2174	1605	1.61
	Miopliocène	D1F141	3.10	8.40	130	280	145	516	21	74	790	650	1.47
		D1F150	4.95	7.93	169	372	184	470	32	63	1000	963	1.43
SENONIEN	D1F128	1.90	7.58	102	245	99	233	14	124	360	620	1.68	
	D1F112	2.60	7.95	103	240	104	225	23	99	400	575	2.20	
ALBIEN	HADEB ROMANIA	2.50	8.06	103	196	131	178	22	165	400	580	0.63	
		2.79	7.84	105	229	115	372	27	98	739	1520	0.65	
Touggourt	Miopliocène	D38F36	5.09	8.24	268	796	166	455	30	146	1744	900	2.70
		D24F29	5.79	8.30	308	820	552	560	27	128	2174	1500	2.40
	Albien	MEGARINE NEZLA	2.81	8.11	158	380	152	215	34	134	924	800	0.70
			1.78	8.37	82	328	30	190	32	134	924	590	0.50
Souf	Phréatique	REGUIBA ZGOUB	3.35	7.64	450	816	590	80	11	34	700	1018	2.56
			13.46	7.48	533	1430	421	1125	59	178	4998	3170	5.21
	PONTIEN	CHOTT KOUININE	52	7.32	100	128	166	600	32	122	685	860	172
			3.70	7.51	113	190	157	540	30	113	693	870	1.65
ALBIEN	DW102 H-Khelifa	2.39	7.21	83	165	100	228	34	134	374	790	0.36	
		2.93	8.30	94	66	186	425	27	49	381	1820	0.80	
Biskra	Phréatique	Doucen El-Hadjeb	4.88	7.14	351	702	421	-	-	1150	-	-	2.94
			3.19	7.14	179	645	43	-	-	185	1100	1750	2.41
	Miopliocène	M'Cid2 F-Wilaya	6.32	7.04	156	189	261	690	33	351	1999	700	1.49
4.82			7.56	123	184	185	450	37	212	1949	366	1.49	
Eocène Albien	S-Chaiba O- Djellal	1.44	8.22	59	133	62	-	-	167	639	370	2.63	
		3.97	7.97	191	454	186	356	56	139	1545	1250	0.65	

IV. Discussion et interprétation des résultats

IV. 1 La Température :

Le tableau (2) relatif à la région de Ouargla, montre que les températures mesurées sur les eaux de la nappe phréatique présentent des valeurs moyennement élevées, vu la période d'échantillonnage (mois de mars).

Tableau 2: Températures des eaux de la région de Ouargla pour les différents niveaux aquifères captés.

Région de Ouargla	Date de prélèvement	Niveau aquifère	Température
P4 : Station de pompage. Chott.	5.3.97	Nappe phréatique	18.80
P30 : EDEMEAO.	5.3.97	Nappe phréatique	21.60
N'Goussa.	5.3.97	Miopliocène	26.00
Hassi-Miloud.	5.3.97	Miopliocène	28.60
Oum Raneb	5.3.97	Miopliocène	25.50
Ain Moussa.	4.3.97	Miopliocène	27.70
Chott.	4.3.97	Sénonien	25.00
Sidi Khuled	4.3.97	Sénonien	26.70
El Bour	4.3.97	Albien	55.00
El Hadeb	4.3.97	Albien	56.00
Khchem El RIH	4.3.97	Albien	55.00

Pour les deux autres nappes du complexe terminal, la température varie entre 25,50°C et 28,60°C pour la nappe du miopliocène et entre 25°C et 27°C pour la nappe du sénonien. On peut dire que les deux niveaux sont thermiquement homogènes avec une légère augmentation de la température pour la nappe du miopliocène; ce qui est logique, car la température des nappes superficielles est plus élevée que celle des nappes sous-jacentes. Cela confirme l'absence de couches complètement imperméables entre ces deux niveaux aquifères.

La nappe de l'albien se caractérise dans toute la région d'étude par des eaux à températures très élevées (des eaux thermales), la température est de l'ordre de 55°C. Ceci implique la nécessité d'un refroidissement avant la distribution urbaine.

IV. 2 Le pH :

Le pH de toutes les eaux est voisin de la neutralité avec un caractère plus ou moins alcalin. La plupart des eaux présentent aussi un caractère alcalin bicarbonaté du fait que le pH est souvent inférieur à 8,3.

IV. 3 La conductivité :

Toutes les valeurs mesurées de la conductivité indiquent une minéralisation élevée car elles sont toutes globalement supérieures à 1000 µs/cm. De plus, elles correspondent à des valeurs de minéralisation totale dépassant les normes de l'O.M.S (soit 1500 mg/l).

IV. 4 Le titre hydrotimétrique :

Les valeurs de la dureté mesurée, pour tous les échantillons prélevés dans les nappes de la région d'étude, sont classées en valeurs minimales et maximales dans le tableau 3.

Tableau 3 : Dureté des eaux de la région d'étude

Région	Nappe	Valeur Min (°F)	Valeur Max (°F)
Ouargla	- phréatique	188	3000
	- Miopliocène	90	279
	- Sénonien	81	206
	- Albien	103	110
El Oued	- Phréatique	144	666
	- Pontien	88	144
	- Albien	77	122
Touggourt	- Miopliocène	194	480
	- Albien	82	158
Biskra	- Miopliocène	120	214
	- Eocène	59	214
	- Albien	191	-

D'après les normes de potabilité des eaux établies par l'O.M.S (tableau 4), on remarque que pour tous les échantillons prélevés, le titre hydrotimétrique minimal dépasse 54°F; ce qui montre que les eaux de cette région orientale du Sahara septentrional sont très dures.

Tableau 4 : Norme pour la dureté des eaux de boisson d'après O.M.S (1972)

TH (°F)	0-7	7-22	22-32	32-54	54
Dureté de l'eau	douce	Modérément douce	Assez douce	dure	Très dure

IV. 5 Faciès chimique : Représentés sur le diagramme de Piper, les classements des anions et cations majeurs, donnent par région et par nappe :

Tableau 5 : Faciès chimique des eaux souterraines de la région étudiée

Ouargla	<p>Nappe phréatique : chlorurées sodiques et potassiques, avec des tendances vers d'autres pôles pour certains forages.</p> <p>Nappe du Miopliocène: selon le sens de l'écoulement des eaux trois faciès d'eau sont rencontrés :</p> <ul style="list-style-type: none"> - chlorurées et sulfatées calciques et magnésienne ; - tendance vers le faciès chloruré sodique et potassique ; - sulfatés calciques. <p>Les cations dominants sont le calcium et le magnésium, changent avec le sens de l'écoulement pour devenir le sodium et le potassium.</p> <p>Les anions dominants sont les chlorures $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$, avec l'écoulement deviennent : $SO_4^{2-} > Cl^- > HCO_3^-$ ($SO_4^{2-} > 50\%$)</p> <p>Nappe du Sénonien : sont de deux types</p> <ul style="list-style-type: none"> - chloruré et sulfaté calcique et magnésienne ; - en aval une tendance à devenir chloruré sodique et potassique <p>Les cations dominants sont le calcium et le magnésium</p> <p>Les anions dominants sont les chlorures, avec une tendance en aval vers le pôle sulfaté.</p> <p>Nappe de l'albien : les eaux de cette nappe albienne sont de type chloruré et sulfaté calcique et magnésienne.</p> <p style="text-align: center;">$Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$ $Ca^{++} > Mg^{++} > Na^+$</p>
Souf	<p>Nappe phréatique : chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes.</p> <p style="text-align: center;">$Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$, $Ca^{++} > Mg^{++} > Na^+$</p> <p>Nappe du Pontien : type chloruré sodique et potassique, les cations dominants sont $Na^+ > Ca^{++} > Mg^{++}$ et les anions dominants sont $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$.</p> <p>Nappe de l'albien : sont sulfatées et chlorurées calciques et magnésiennes</p> <ul style="list-style-type: none"> - les cations dominants sont le calcium et le magnésium. - Les anions dominants sont les sulfates $SO_4^{2-} > Cl^- > HCO_3^-$ ($SO_4^{2-} > 50\%$)
Touggourt	<p>Nappe phréatique : les eaux de cette nappe se chargent de plus en plus de matières dissoutes. La distribution montre une nette dominance des chlorures et des sulfates sur le calcium et le magnésium.</p> <p>Selon les formules caractéristiques les ions s'ordonnent de la manière suivante :</p> <p>En amont : $SO_4^{2-} > Cl^- > HCO_3^-$ et $Na^+ > Ca^{++} > Mg^{++}$</p> <p>En aval : $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$ et $Na^+ > Mg^{++} > Ca^{++}$</p> <p>Nappe du miopliocène : chloruré et sulfaté calcique et magnésienne</p> <p style="text-align: center;">$Ca^{++} > Mg^{++} > Na^+$ $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$</p> <p>Nappe de l'albien : chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne</p> <p style="text-align: center;">$Ca^{++} > Mg^{++} > Na^+$ $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$.</p>
Biskra	<p>Nappe du miopliocène : type chlorurée sodique et potassique.</p> <p>Eocène : sulfaté calcique.</p>

D'après le tableau 5, nous pouvons dire que les ions dominants sont le plus souvent les chlorures et les sulfates parmi les anions et le calcium et le magnésium parmi les cations. Aussi nous pouvons dire que les eaux de la région étudiée présentent deux faciès suivant le sens de l'écoulement, chloruré et sulfaté calcique et magnésien en amont avec une tendance à devenir chloruré sodique et potassique à l'aval. Compte tenu de l'évaporation intense, les nappes phréatiques sont souvent hyper chlorurées sodiques.

IV. 6 Minéralisation :

La minéralisation correspond à la totalité des sels dissous contenus dans l'eau. Nous l'avons déterminé à partir de la conductivité des échantillons prélevés, toutes les valeurs mesurées de la conductivité indiquent une minéralisation élevée car elles sont toutes globalement supérieures à 1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$. De plus, elles correspondent à des valeurs de minéralisation totale dépassant les

normes de l'O.M.S, soit 1500 mg/l.

Pour mieux suivre l'évolution de ces concentrations dans les différentes nappes et suivant le sens de l'écoulement, nous avons opté pour une représentation en carte de minéralisation (concentrations en sels dissous en g/l) désignant chaque nappe et dans toutes les régions étudiées.

Pour la nappe du Miopliocène de la région de Ouargla (figure1), les concentrations varient entre une valeur minimale de 2,07 g/l et une valeur maximale de 5,19 g/l.

Cette carte montre que le sens d'accroissement de la minéralisation se fait toujours du Sud- Ouest vers le Nord- Est (vers les chotts et sebkhas), ce qui coïncide aussi avec le sens de l'écoulement de la nappe.

Cette augmentation de la salinité peut être due à la concentration des sels au niveau de la nappe du Miopliocène et l'hétérogénéité de la formation (sables, argiles, marnes et gypses).

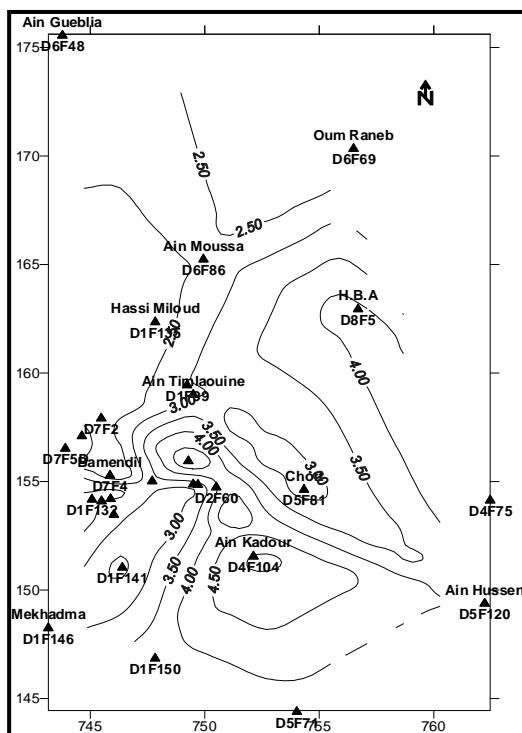


Figure 1 : Carte de la minéralisation, Nappe du Miopliocène région de Ouargla

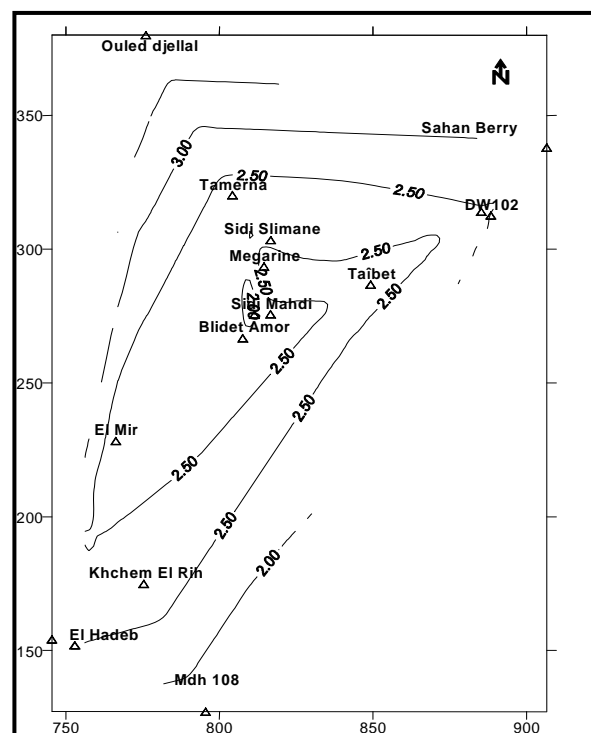


Figure 2 : Carte de la minéralisation de la nappe de l'Albien, région orientale du Sahara septentrional.

Selon SCHOELLER(1948) ,pour la famille chlorurée et sulfatée sodi-calcique et magnésienne ainsi que pour la famille chlorurée sodique et potassique la lithologie de l'aquifère est plus fine, la circulation de l'eau est difficile, le temps de contact eau- roche augmente d'où l'augmentation de la salinité et l'influence des argiles devient plus marquée. Cette interprétation traduit le phénomène de concentration par dissolution.

Les eaux de la nappe de l'Albien sont modérément minéralisées, les concentrations en sels varient entre 1,73 g/l (Albien Tamerna) à Touggourt et 3,01 (Albien Ouled Djellal) à Biskra. Sur la carte (Figure 2) on observe la progression de la minéralisation qui se fait du Sud- Ouest (à Ouargla) vers le Nord- Est (à Biskra), l'évolution se fait de 2 à 3 g/l .

IV. 7 Teneurs en fluor :

Les teneurs en fluor les moins élevées se trouvent dans la nappe de l'Albien quelque que soit la région considérée (Tableau 6).

Tableau 6 : Teneurs en fluor des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional.

Région	Nappe	F ⁻ (mg/l) Valeur minimale	F ⁻ (mg/l) Valeur maximale
Ouargla	Phréatique	0.14	3.05
	MioplIOCène	0.90	2.26
	Sénonien	1.22	2.20
	Albien	0.56	0.65
El Oued	Phréatique	2.56	5.21
	Pontien	1.58	2.14
	Albien	0.36	0.8
Touggourt	MioplIOCène	2.04	3.01
	Albien	0.5	0.7

Dans la nappe des sables (MioplIOCène, Pontien) et des calcaires (Eocène, Sénonien), les teneurs dépassent dans tous les cas 1mg/l avec un accroissement suivant le sens de l'écoulement présumé des eaux considérées. La figure 3 présente une carte de la répartition des teneurs en fluorures de la nappe du MioplIOCène dans la région de Ouargla.

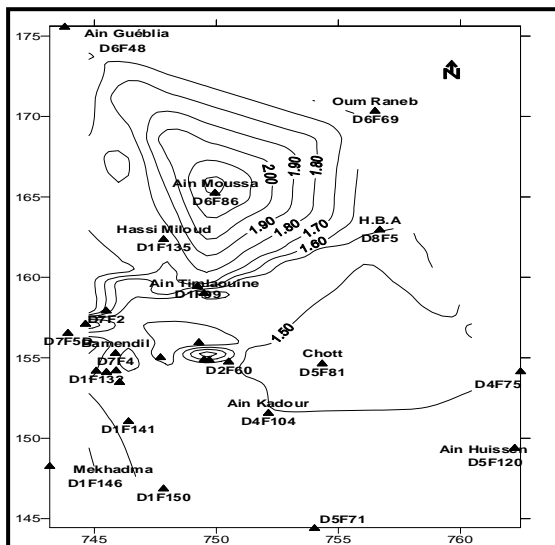


Figure 3 : Carte de la répartition des teneurs en fluorures dans la nappe du MioplIOCène région de Ouargla

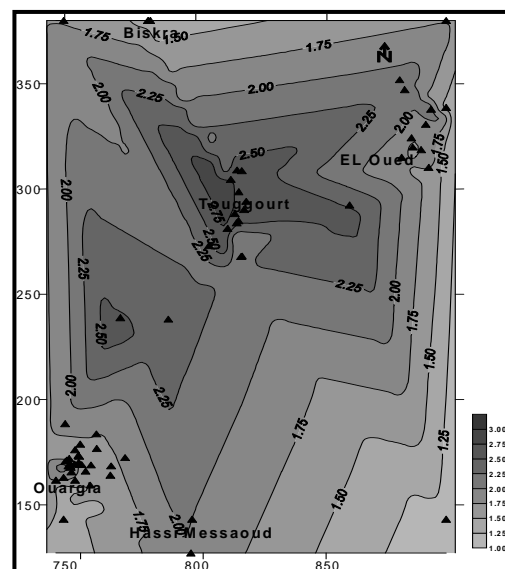


Figure 4 : Carte de la répartition des teneurs en fluorures dans la nappe du MioplIOCène du Sahara septentrional.

Une carte des teneurs en fluor, (Figure 4), dans les eaux du MioplIOCène est proposée pour toute la région orientale du Sahara septentrional. Elle montre que la région de Touggourt est celle qui présente les plus fortes teneurs en fluor.

V. CONCLUSION :

Cette campagne a concerné les deux principaux aquifères du Sahara septentrional, le complexe terminal et le continental intercalaire dans les régions de Ouargla, Touggourt, El Oued et Biskra, à différents niveaux aquifères.

Nous avons utilisé une variété de méthodes analytiques dans le dosage des éléments minéraux.

Il nous a été possible d'étudier l'évolution des principaux paramètres de qualité physico-chimique tant du point de vue géographique que géologique.

En particulier, les conductivités sont variables selon la région considérée et diminuent avec la profondeur de l'aquifère en allant de la nappe phréatique vers la nappe Albienne.

Les ions dominants sont le plus souvent les chlorures et les sulfates ainsi que le calcium et le magnésium. Les cartes de minéralisation dressées indiquent un accroissement de ce paramètre dans le sens de l'écoulement des eaux.

Quant au fluor, les teneurs les moins élevées se trouvent dans la nappe de l'Albien quelque soit la région considérée.

Concernant la nappe des sables et des calcaires, les teneurs dépassent dans tous les cas la norme de potabilité.

D'une façon générale, les caractéristiques minérales des eaux de la région d'étude sont apparues globalement médiocres avec des valeurs non-conformes aux normes de potabilité, notamment en ce qui concerne les nappes les plus exploitées (Nappes du complexe terminal).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. ACHOUR. S (1990): La qualité des eaux du Sahara septentrional en Algérie- Etude de l'excès en fluor, Tribune de l'eau, Cebedeau, n°6, 42 (542), 53-57.
2. A.N.R.H (1986): Ressources en eau et en sols de l'Algérie, rapport.
3. AZOUT. B., ABRAHAM. J (1978): Existence et causes des fluoroses humaines dans la région d'El Oued, Annales de l'I.N.A., Volume VIII, 3, 5-12 Alger.
4. BEL F., CUCHE D (1970): Etude des nappes du complexe terminal du bas Sahara. Données géologiques et hydrogéologiques pour la construction du modèle mathématique, D.H.W., Ouargla.
5. BOUARICHA K (1971): contribution à l'étude de l'intoxication fluorée, chronique, osseuse dans la région su Souf (Algérie), thèse de Doctorat en Médecine, Université d'Alger.
6. C.D.T.N. (1992): Etude hydrochimique et isotopique des eaux souterraines de la cuvette de Ouargla, rapport.
7. DEAN H.T. (1942): The investigation of physiological effects by the epidemiological method. Am. Assoc. Adv. Sci., 19: 23-31.
8. E.R.E.S.S (1972): Etude des ressources en eau du Sahara septentrional. Utilisation des modèles pour l'établissement des programmes d'exploitation, Vol. II, Vol. III, Vol. V.
9. O.M.S (1972): Normes internationales applicables à l'eau de boisson, Genève.
10. O.M.S (1985): Fluor et fluorures, Critères d'hygiène de l'environnement, 36, Organisation mondiale de la santé, Genève, 150pp.
11. PINET F., BARRIERE J., BOUCHE B. (1961): Endemic fluorosis of aqueous origin in Souf. Darmous and fluorosis osteoporoses. A report of 51 cases of condensing osteoses, Algérie Med, 65.
12. RODIER J. (1984): L'analyse de l'eau ; Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 7^{ème} Edition, Ed. Dunod, Paris.
13. SCHOELLER, H. (1948): Les modifications de la composition chimique de l'eau dans une nappe. Assemblée générale d'OSLO de l'union Géodésique et Géophysique internationale.
14. TABOUCHE N (1999): Etude de la répartition spatiale des teneurs en fluorures des eaux souterraines du Sahara septentrional, Thèse de Magister en sciences hydrauliques , Université de Biskra, Algérie.
15. TRAVI Y (1993): Hydrogéologie et hydrochimie des aquifères du Sénégal. Thèse de Doctorat.
16. TRAVI Y., LECOUSTEUR E. (1982): Fluoroses dentaires et eaux souterraines : l'exemple du Sénégal, eau du Québec, 15, 9-12.