



ETUDE DE LA QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES DE LA REGION ORIENTALE DU SAHARA SEPTENTRIONAL ALGERIEN

TABOUCHE N.¹, ACHOUR S.²

¹*Attachée de recherche au CRSTRA*

²*Laboratoire de recherche en hydraulique souterraine et de surface (LARHYSS),
faculté des sciences et des sciences de l'ingénieur*

Université de Biskra

E-mail : info@larhyss.net , info@larhyss.org

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 estimés 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 associées 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 LECOUSSTEUR, 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 fluorotique (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 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 Mio-Pliocène, 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 vidanger 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 complexométrie, 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. RESULTATS

Le tableau 1 présente les résultats d'analyses physico- chimiques dont nous proposons quelques exemples pour les régions concernées par la campagne ainsi que pour tous les niveaux aquifères exploités.

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

Localité	nappe	Désignation	Conductivité mS/cm	pH	TH (°F)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	F ⁻ (mg/l)
Biskra	Phréatique	O. Biskra	3.8	8.08	93	198	107	-	-	172	976	1200	1.07
		Doucen	4.88	7.14	351	702	421	-	-	1150	-	-	2.94
		El-Hadjeb	3.19	7.14	179	645	43	-	-	185	1100	1750	2.41
	Miopliocène	M'Cid2	6.32	7.04	156	189	261	690	33	351	1999	700	1.49
		El-Alia	5.12	7.23	120	168	187	552	24	290	1799	833	1.33
		F-Wilaya	4.82	7.56	123	184	185	450	37	212	1949	366	1.49
Éocène Albien	S-Chaiba	1.44	8.22	59	133	62	-	-	167	639	370	2.63	
	O- Djellal	3.97	7.97	191	454	186	356	56	139	1545	1250	0.65	

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

Localité	nappe	Désignation	Conductivité mS/cm	pH	TH (°F)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	F ⁻ (mg/l)
Ouargla	Phréatique	P128	6.71	7.73	286	707	264	2472	100	196	2249	2556	0.51
		P121	4.46	8.20	188	363	235	591	21	198	1874	2302	1.07
	Miopliocène	D1F146	3.63	7.069	136	364	109	438	22	90	830	650	1.72
		D1F141	3.10	8.40	130	280	145	516	21	74	790	650	1.47
	Sénonien	D1F142	2.54	8.33	97	285	62	233	14	122	382	650	1.37
		D1F128	1.90	7.58	102	245	99	233	14	124	360	620	1.68
	Albien	HADEB	2.50	8.06	103	196	131	178	22	165	400	580	0.63
		K-EL-RIH	2.83	7.80	110	230	127	-	-	63	-	-	0.56
Touggourt	Miopliocène	D38F36	5.09	8.24	268	796	166	455	30	146	1744	900	2.70
		D26F9	7.78	8.30	346	768	373	775	35	155	3224	2310	3.01
	Albien	TEMACINE	2.16	8.31	120	320	97	145	33	159	699	760	0.70
		MEGARINE	2.81	8.11	158	380	152	215	34	134	924	800	0.70
El-Oued	Phréatique	GUEMAR	3.91	7.35	287	726	253	138	26	54	800	1035	3.97
		REGUIBA	3.35	7.64	450	816	590	80	11	34	700	1018	2.56
	Pontien	ROBBAH	3.52	7.19	88	118	140	500	28	118	684	780	1.58
		CHOTT	3.52	7.32	100	128	166	600	32	122	685	860	1.72
		KOUININE	3.70	7.51	113	190	157	540	30	113	693	870	1.65
	Albien	DW101	2.46	7.24	77	153	93	263	34	120	462	825	0.38
		DW102	2.39	7.21	83	165	100	228	34	134	374	790	0.36

IV. DISCUSSION ET INTERPRETATION DES RESULTATS

IV.1 La Température

Le tableau 2 qui présente la région de Ouargla, montre que les valeurs mesurées sur les eaux de la nappe phréatique présentent des températures élevées, vu la période d'échantillonnage (mois de mars), la température est de 20°C.

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.	5.3.97	Nappe phréatique	18.80
Chott.	5.3.97	Nappe phréatique	21.60
P30 : EDEMEAO.	5.3.97	Miopliocène	26.00
N'Goussa.	5.3.97	Mio-Pliocène	28.60
Hassi-Miloud.	5.3.97	Mio-Pliocène	25.50
Oum Raneb	4.3.97	Mio-Pliocène	27.70
Ain Moussa.	4.3.97	Sénonien	25.00
Chott.	4.3.97	Sénonien	26.70
Sidi Khuiled	4.3.97	Albien	55.00
El Bour	4.3.97	Albien	56.00
El Hadeb	4.3.97	Albien	55.00
Khchem El RIH			

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 moi-pliocène 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 imperméable 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 $\mu\text{s}/\text{cm}$. De plus elles correspondent à des valeurs de minéralisation totale dépassant les normes de l'O.M.S (soit 1500 mg/l).

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 : Duretés 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 l'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

Après la représentation sur le diagramme de Piper, nous pouvons classer les anions et cations majeurs, par région et par nappe, selon le tableau 5.

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 Mio-Pliocène: selon le sens de l'écoulement des eaux trois faciès d'eau sont rencontrés :</p> <ul style="list-style-type: none"> - chloruré et sulfaté calcique et magnésien ; - tendance vers le faciès chloruré sodique et potassique ; - sulfaté calcique. <p>Les cations dominants sont le calcium et le magnésium, change avec le sens de l'écoulement pour devenir le sodium et le potassium.</p> <p>Les anions dominants sont les chlorures $Cl^- > SO_4^- > HCO_3^-$, avec l'écoulement deviennent : $SO_4^- > Cl^- > HCO_3^-$ ($SO_4 > 50\%$)</p> <p>Nappe du Sénonien : sont de deux types</p> <ul style="list-style-type: none"> - chloruré et sulfaté calcique et magnésien ; - 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 sont de type chloruré et sulfaté calcique et magnésien.</p> <p style="text-align: center;">$Cl^- > SO_4^- > HCO_3^-$ $Ca^{++} > Mg^{++} > Na^+$</p>
Souf	<p>Nappe phréatique : chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes.</p> <p style="text-align: center;">$Cl^- > SO_4^- > HCO_3^-$ $Ca^{++} > Mg^{++} > Na^+$</p> <p>Nappe du Pontien : type chloruré sodique et potassique, les cations dominants sont $Na^+ > Ca^{++} > Mg^{++}$ et les anions dominants sont $Cl^- > SO_4^- > HCO_3^-$.</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. <p>Les anions dominants sont les sulfates $SO_4^- > Cl^- > HCO_3^-$ ($SO_4 > 50\%$)</p>
Biskra	<p>Nappe du Moi-Pliocène : Type chlorée sodique et potassique</p> <p>Eocène : Sulfaté calcique</p>
Touggourt	<p>Nappe phréatique : les eaux de cette nappe se charge 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 : $SO_4^- > Cl^- > HCO_3^-$ et $Na^+ > Ca^{++} > Mg^{++}$</p> <p>En aval : $Cl^- > SO_4^- > HCO_3^-$ et $Na^+ > Mg^{++} > Ca^{++}$</p> <p>Nappe du miopliocène : chloruré et sulfaté calcique et magnésienne</p> <p style="text-align: center;">$Ca^{++} > Mg^{++} > Na^+$ $Cl^- > SO_4^- > HCO_3^-$</p> <p>Nappe de l'albien : chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne</p> <p style="text-align: center;">$Ca^{++} > Mg^{++} > Na^+$ $Cl^- > SO_4^- > HCO_3^-$</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 magnésienne 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 (fig.1), les concentrations varient entre une valeur minimale de 2,07 g/l et une valeur maximale de 5,19g/l. La figure 1 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). 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 (Fig. 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 (de substances dissoutes dans l'eau).

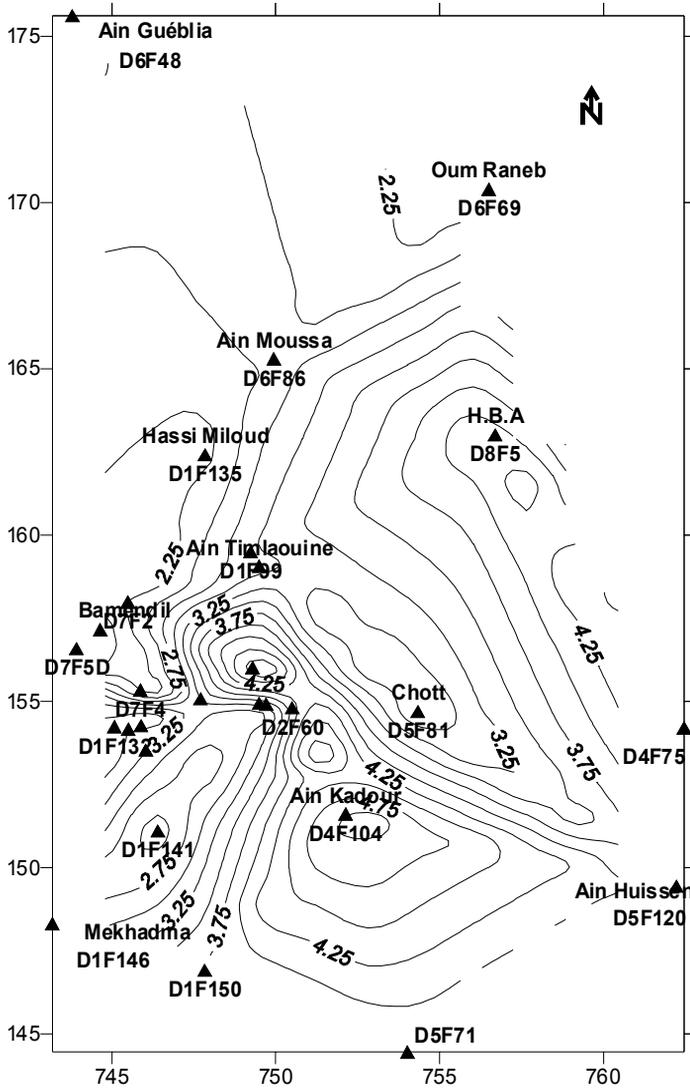


Fig. 1 : Carte de la minéralisation, Nappe du Mio-Pliocène région de Ouargla

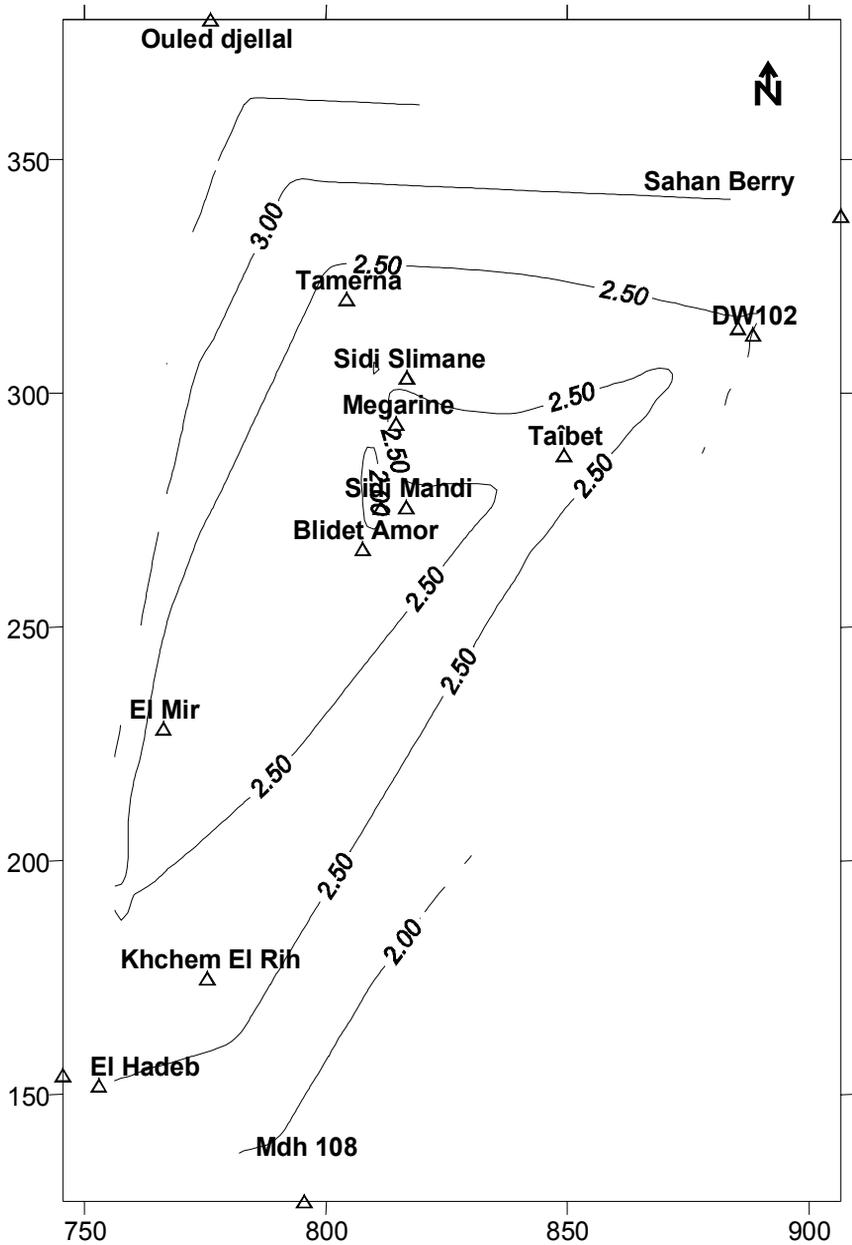


Fig. 2 : Carte de la minéralisation de la nappe de l'Albien, région orientale du Sahara septentrional.

IV.7 Teneur 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 nappe du Miopliocène région orientale du Sahara septentrional.

Région	Nappe	F ⁻ (mg/l)	
		Valeur minimale	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 (Mio-Pliocène, 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 Mio-Pliocène dans la région de Ouargla.

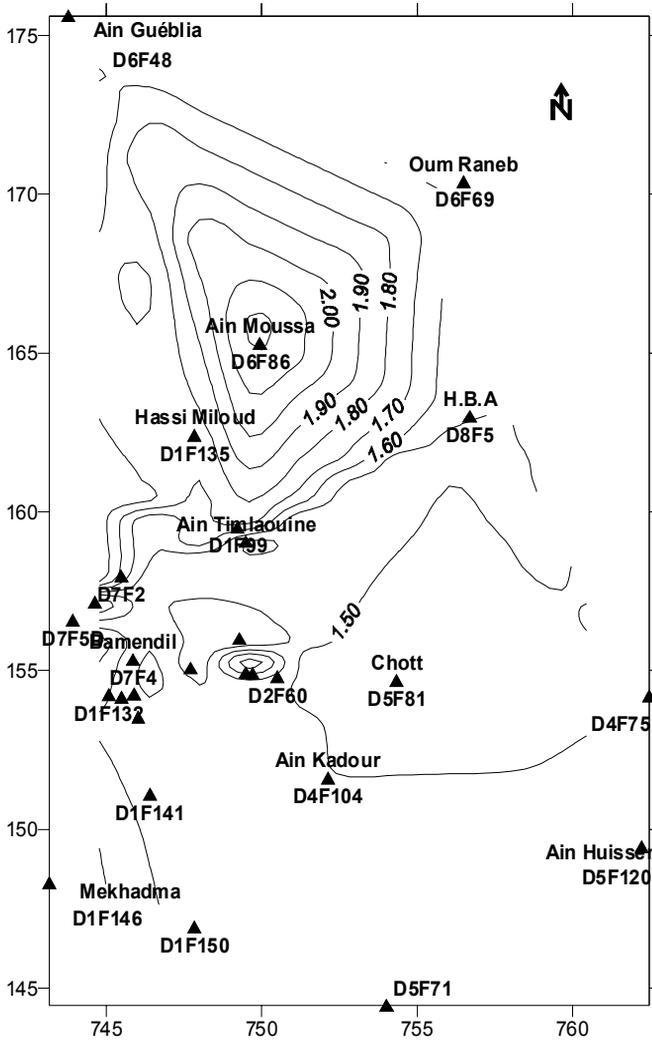


Fig. 3 : Carte de la répartition des teneurs en fluorures dans la nappe du Miopliocène région de Ouargla

Une carte des teneurs en fluor, (Fig. 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.

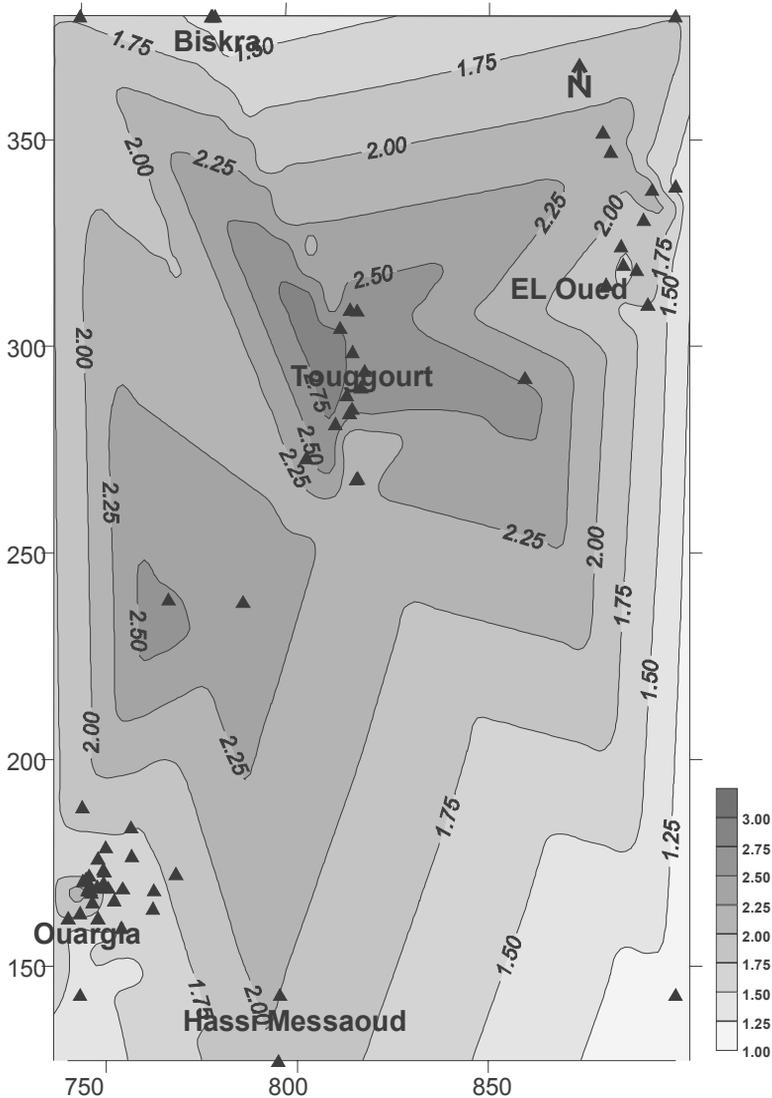


Fig. 4 : Carte de la répartition des teneurs en fluorures dans la nappe du Miopliocène du Sahara septentrional.

V. CONCLUSION

Cette campagne a concerné les deux principaux aquifères du Sahara septentrional, le complexe terminal et le continental intercalaire dans les régions de Ouarlga, 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 diminue avec la profondeur de l'aquifère en allant e 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).

MOTS CLES : Nappe souterraine, Sahara septentrional, minéralisation, fluor, cartographie.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 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.
- A.N.R.H (1986). Ressources en eau et en sols de l'Algérie, rapport.
- 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.
- 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.
- 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.

- C.D.T.N. (1992). Etude hydrochimique et isotopique des eaux souterraines de la cuvette de Ouargla, rapport.
- DEAN H.T. (1942). The investigation of phisiological effects by the epidemiological method. Am. Assoc. Adv. Sci., 19: 23-31.
- 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.
- O.M.S (1972). Normes internationales applicables à l'eau de boisson, Genève.
- O.M.S (1985). Fluor et fluorures, Critères d'hygiène de l'environnement, 36, Organisation mondiale de la santé, Genève, 150pp.
- 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.
- RODIER J. (1984). L'analyse de l'eau ; Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 7^{ème} Edition, Ed. Dunod, Paris.
- 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.
- TABOUCHE N. (1999). Etude de la répartition spatiale des teneurs en fluorures des eaux du sahara septentrional, Thèse de Magister en sciences hydraulique, Université de Biskra, Algérie.
- TRAVI Y. (1993). hydrogéologie et hydrochimie des aquifères du Sénégal, hydrochimie du
- TRAVI Y., LECOUSTEUR E. (1982). Fluoroses dentaires et eaux souterraines : l'exemple du Sénégal, eau du Québec, 15, 1, 9-12.