

QUALITE DES EAUX SOUTERRAINE DANS LE SAHARA ALGÉRIEN (CAS DE TIDIKELT EST)

Rachid ZEGAIT^{1*} and Samir KATEB²

¹ Laboratoire de Génie de l'Eau et Environnement (LGEE), École Nationale Supérieure de l'Hydraulique
ENSH, R.N 29 Guerrouaou B.P 31Blida (09000), Algérie

² Université de KasdiMerbeh-Ouargla, Algérie

Résumé. L'objectif de ce travail est d'évaluer la qualité des eaux de la nappe souterraines au niveau du **Tidikelt** à travers l'évaluation des caractéristiques physico-chimiques des eaux et des éléments dissous afin de déterminer leurs origines, la détermination de la qualité chimique des eaux pour leur utilisation dans l'irrigation, la connaissance des structures des variables d'une part et quantifier les familles d'eau par les analyses des individus d'autre part avec une approche statistique multidimensionnelle, afin de déterminer l'aptitude de ces eaux pour l'alimentation en eau potable et en irrigation

Mots clés: *Qualité, Nappe albiennne, Conductivité électrique, Alcalinité, Faciès chimique, Pollution.*

1. Introduction

L'Algérie est considérée comme un pays aride durant les trois dernières décennies, le pays est confronté aux problèmes des ressources en eau mobilisables qui ne se posent pas uniquement en termes de quantité disponible, mais aussi en termes de qualité.

Dans le sud algérien et notamment dans la région du Tidikelt qui comporte le grand transfère d'eau In-Salah –Tamanrasset, le déficit hydrique climatique est tel que le recours à l'irrigation est une nécessité vitale pour la production agricole. Cependant, la réussite de toute mise en valeur agricole dépendra donc de l'emploi rationnel et du contrôle périodique des ressources en eau disponibles.

Les eaux souterraines sont les seules ressources permettant de faire face aux besoins de l'irrigation et des différents usages domestiques d'où la nécessité de bien étudier la qualité de ces eaux et de les protéger contre tout risque de contamination.

A cet effet, nous disposons des échantillons prélevés de la nappe souterraine dans le Tidikelt. Les mesures physico-chimiques (température, conductivité électrique et pH) sont effectuées sur terrain, alors que les dosages des éléments chimiques (Ca^{++} , Na^+ , K^+ , Mg^{++} , SO_4^- , Cl^- , HCO_3^- et NO_3^-) sont déterminés au niveau du laboratoire.

* Corresponding author.

E-mail: zegait.rachid@gmail.com (Zegait R.).

Adresse: Laboratoire de Génie de l'Eau et Environnement (LGEE), École Nationale Supérieure de l'Hydraulique
ENSH, R.N 29 Guerrouaou B.P 31Blida (09000), Algérie

2. Matériels et méthode

Le Sahara algérien qui couvre une superficie de l'ordre de 2 millions de km², entre les 18° et 35° de latitude Nord, constitue un désert parmi les plus arides et les plus chauds du globe.

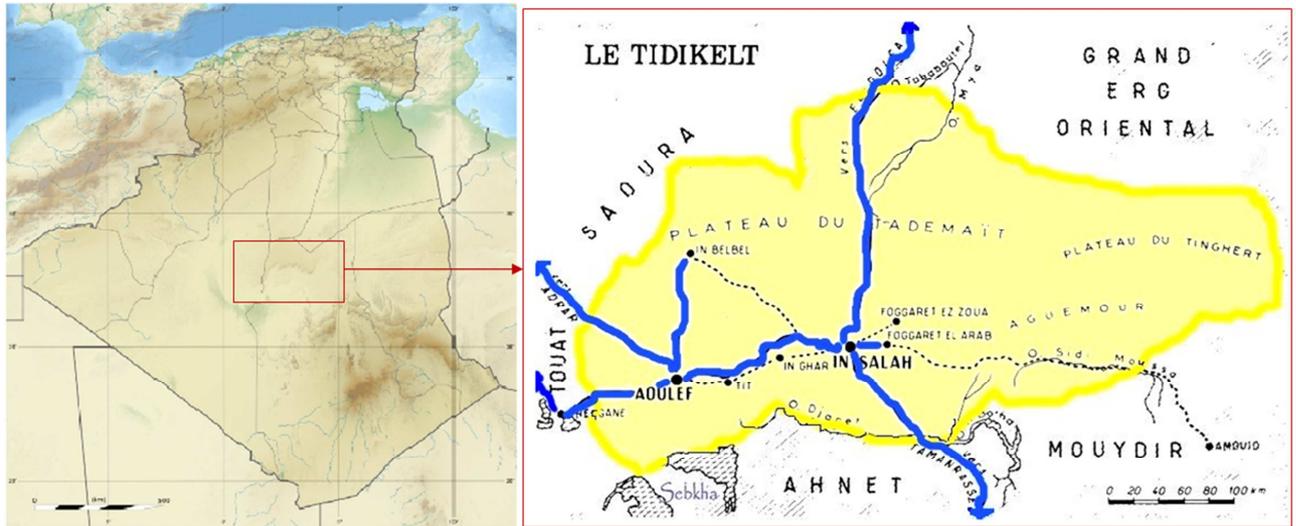


Figure 1 : Situation géographique du Tidikelt

2-1- Cadre physique et expérimental

Le Tidikelt est un groupe d'oasis du Sahara algérien, le plus oriental de l'archipel Touatien, s'étend au sud du plateau de Tademaït, et au nord du plateau de Mouydir, sur une longueur de 150 kilomètres d'est en ouest, cette activité est menée dans le Tidikelt Est au sein de la région d'In-Salah

Le climat du Tidikelt est désertique qui caractérisé par l'absence de précipitations (inférieur à 15 mm/an), les températures extrêmement élevées et le vent qui contribuent à de très fortes évapotranspirations (3 à 3.3 m/ an),

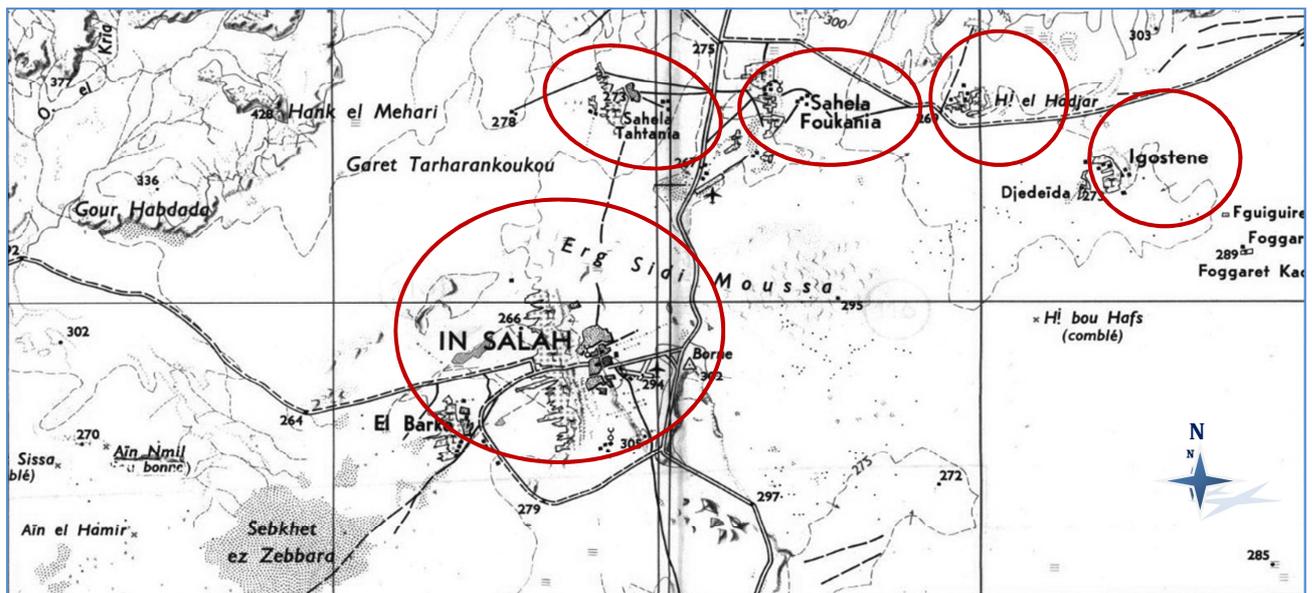


Figure 2 : différentes Oasis du Tidikelt Est

2-1- L'hydrogéologie

Le Tidikelt-Est fait partie du sous bassin hydrogéologique occidental du continental intercalaire, il constitue ces limites sud-est. L'ensemble continental repose au Sud et à l'Est en accordance sur les formations marines du carbonifère basalte. Vers le nord et à l'ouest, le substratum devient plus ancien. Le réservoir aquifère renfermant la nappe est d'une constitution d'alternances de formations détritiques continentales. Les coupes des forages d'eau ou de pétrole réalisées montrent ces formations hétérogènes dans l'espace et dans le temps.

La Erreur ! Source du renvoi introuvable.

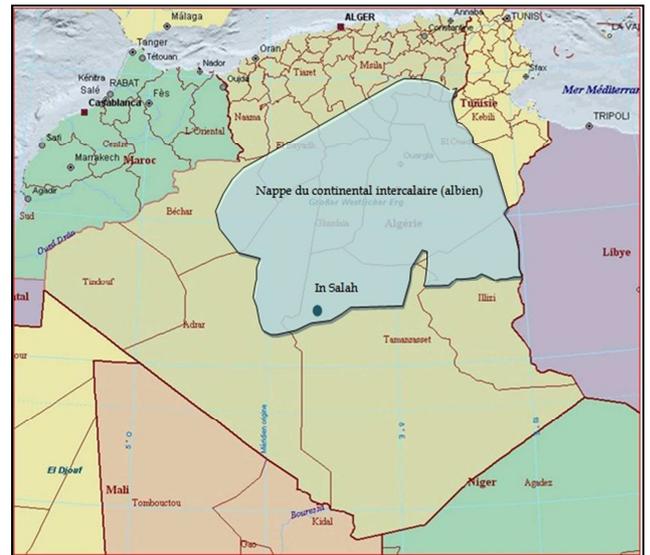


Figure 3 : Extension du CI en Algérie

2-3 – Potentialité en eau

La région d'In-Salah renferme 120 forages hydrauliques captent la nappe du CI, dont 16 forages sont destinés pour l'AEP (Fig. 4) par contre 104 sont destinés pour l'irrigation (Fig5)

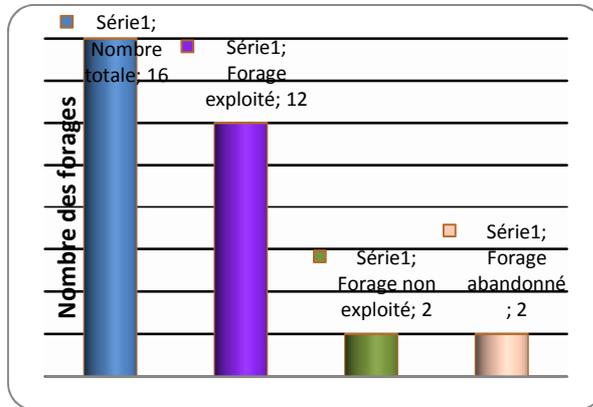


Figure 4 : Situation des forages d'AEP

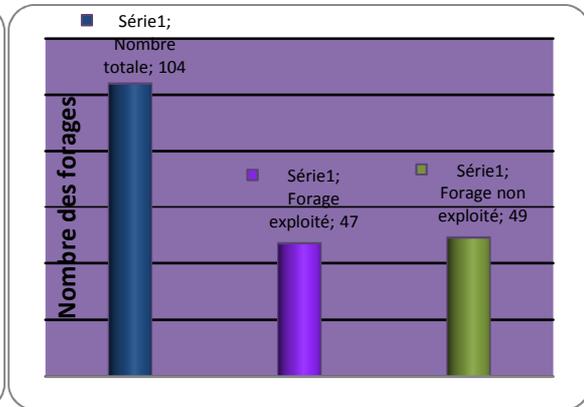


Figure 5 : Situation des forages d'irrigation

2-4 – Zone d'échantillonnage

Vu le nombre important des forages que compte la région d'étude, et étant confronté à l'impossibilité d'analyser les eaux de l'ensemble de ces forages, nous avons procédé à la sélection de 53 forages répartis uniformément à travers la région d'In-Salah centre jusqu'à IGOSTEN, pour prélever l'eau de la nappe souterraine. À l'aide d'un GPS, ils ont déterminé les coordonnées UTM des forages d'eau existants.

2-5 – Choix des points de prélèvement

Pour une bonne représentativité des échantillons, nous avons choisi les forages de prélèvement selon les critères suivants :

- Une bonne répartition spatiale des forages
- L'utilisation pour l'eau potable ou pour l'irrigation
- L'accessibilité aux points d'eau à prélever.

2-6 –Echantillons représentatifs

À l'aide de logiciel d'hydrochimie d'Avignon nous avons travaillé sur 46 forages représentatifs parmi 53 forages qui à été échantillonné (Tab 1)

Les hypothèses de sélection sont:

- 1- La balance ionique dépasse 5% marge acceptable par les normes d'analyse des eaux (Rodier 2009)
- 2- Mauvaise emplacement spatial qui peut être erroné la variation spatiale des éléments

Tableau-1 : répartition des forages sélectionnés

LOCALITE	NOMBRE DES FORAGES	USAGE	
		AEP	IRRI
IN-SALAH	24	4	20
SAHLA EST	7	2	5
SAHLA OUEST	8	1	7
HASSI LAHDJER	4	1	3
IGOUSTEN	3	0	3

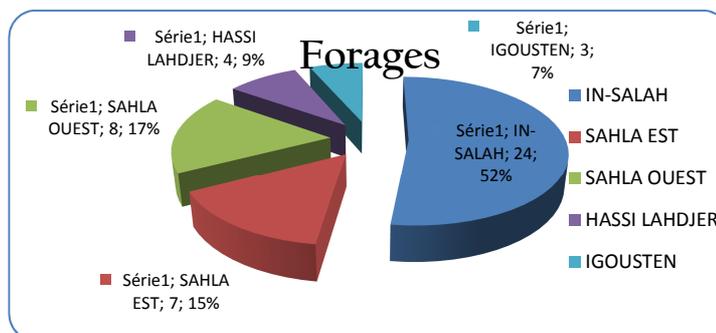


Figure 6 : pourcentage des forages sélectionné

2-8 Mesures in situ

Les mesures de terrain ont porté sur : la conductivité électrique, la température, et le pH.

2-9 Mesures et analyses au laboratoire

Les analyses chimiques sont effectuées au niveau du laboratoire de l'ANRH (Agence nationale des ressources en eaux) d'Ouargla

- Cations : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et K^+ ;
- Anions: Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} et NO_3^- .
- La conductivité électrique (CE) à 25°C et le résidu sec (RS).

2-9-1 Méthodes d'analyses physico-chimiques

Sodium et potassium

Les dosages du sodium et du potassium ont été faits par spectrométrie à flamme (Fig.-7)

Calcium et magnésium

Les dosages du calcium et du magnésium ont été réalisés par complexométrie.



Figure 7 : Spectrophotomètre de flamme



Figure 8: Photomètre UV 440 µm

Ammonium

Le dosage est fait par un photomètre UV 440µm

Chlorures

Le dosage des chlorures est effectué par la méthode titrimétrique.

Sulfates

Le dosage des sulfates est effectué par la méthode turbidimétrique, elle est basée sur le fait que les ions sulfates se précipitent en milieu acide et en présence du chlorure de baryum (BaCl_2) pour former du sulfate de baryum (BaSO_4) (Rodier, 2009).

Nitrates

Le dosage des nitrates (NO_3^-) se fait par colorimétrie dans un photomètre UV 440µm (Fig.-8) avec le réactif sulfophérique (Rodier, 2009)

3. Résultats et discussion

L'étude du chimisme des eaux a pour but d'identifier les faciès chimiques des eaux, leur qualité, le degré de potabilité, ainsi que leur aptitude à l'irrigation. Elle permet aussi de suivre l'évolution spatiale des paramètres physico-chimiques

Tableau-2 : Caractéristiques physico – chimiques des échantillons d'eaux prélevés

Variable	Surnom	Unité	Min	Max	Moyenne	Ecart-Type	CV
pH	pH		7,37	8,43	8,12	0,32	0,04
Conductivité	Ce	mS/cm	2,66	5,5	3,67	0,44	12,02
Calcium	Ca ⁺²	mg/l	126	288,4	213,83	30,72	14,37
Magnésium	Mg ⁺²	mg/l	59,4	145,5	86,74	15,76	18,17
Sodium	Na ⁺	mg/l	200	530	393,53	72,55	18,44
Potassium	K ⁺	mg/l	20	88	28,67	11,77	41,06
Chlore	Cl ⁻	mg/l	300	1000	639,22	176,69	27,64
Sulfates	SO ₄	mg/l	300	1000	663,62	149,78	22,57
Hydrocarbonates	HCO ₃	mg/l	73,2	204	167,69	24,6	14,67
Nitrates	NO ₃	mg/l	0	65	23,79	15,68	65,93
Le Titre Hydrotimétrique (la dureté)	TH	°F	0	100	85,11	16,9	19,86
Le titre d'alcalinité complet	TAC	°F	0	16,75	13,31	2,85	21,44
Ammonium	NH ₄	mg/l	0	0,4	0,03	0,06	239,7
Nitrites	NO ₂	mg/l	0	0,095	0,01	0,02	146,05
phosphate	PO ₄	mg/l	0	0,42	0,02	0,07	283,23
Silice	SiO ₂	mg/l	0	56	33,53	9,45	28,19

3-1 –Diagramme de PIPER

Le report des résultats des analyses des eaux de l'aquifère Plio-Quaternaire sur le diagramme triangulaire de Piper (Figure 9), met en évidence l'incidence du faciès lithologique sur la qualité des eaux et permet aussi d'estimer les pourcentages des éléments chimiques et leur classification.

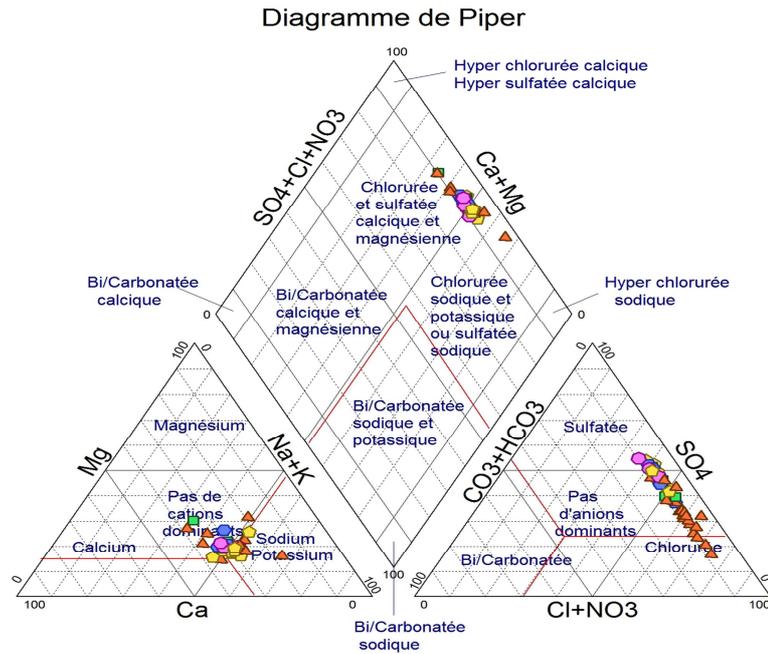


Figure 9 : Diagramme triangulaire de Piper pour les eaux de Tidikelt-Est

Le report des résultats chimiques des eaux prélevées dans la région de Tidikelt-Est sur ce diagramme montre que :

- le chimisme des eaux analysées est caractérisé uniquement par le faciès chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne avec une légère tendance de migration vers le faciès chlorurée sodique ;
- pas de cation dominant pour 54% des échantillons analysés tend que le reste migré ver le sodium potassium;
- le chlorure est l'anion dominant pour la majorité des eaux analysées, il n'y a pas d'anion dominant pour les échantillons (F2, F14, F21, F23, F25, F31, F36, F44) qui signifiera 17% des échantillons, le sulfate est l'anion dominant pour les échantillons (F27, F28, F37, F38, F39, F 41) qui signifiera 13%

3-2- État de la qualité des eaux souterraines en vue d'un usage agricole

Dans la région étudiée, l'irrigation des cultures est assurée par les forages sur le continentale intercalaire. Pour caractériser l'aptitude à l'irrigation des eaux de la nappe, nous utilisons les valeurs de la conductivité électrique à 25°C et celles du rapport d'adsorption du sodium (SAR).

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

Le report des forages échantillons placés sur le diagramme de classification des eaux d'irrigation montre que plus de **89 %** des échantillons analysés se situent dans la classe [C₄ S₂]

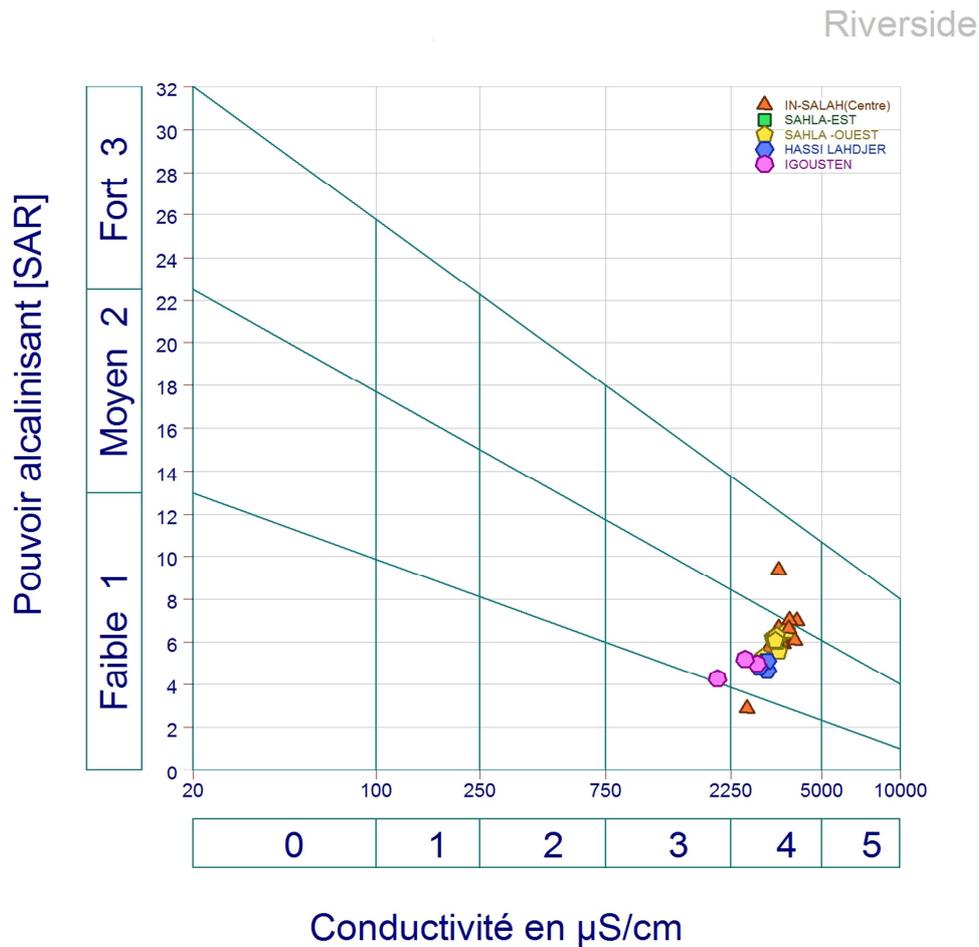


Figure 10 : Diagramme pour la classification des eaux d'irrigation en fonction du SAR
 SAR : Rapport d'adsorption du sodium (méq/L).
 Ce : Conductivité électrique à 25 °C (µS/cm).

Le SAR varie de 13 à 23, les eaux peuvent provoquer un risque d'alcalinisation des sols. Où le danger d'alcalinisation du sol est appréciable dans les sols à texture fine.

La conductivité électrique varie de 2.25 mS/cm à 5 mS/cm, c'est-à-dire la salinité est très forte. Cette eau n'est utilisable que si l'on pratique un lessivage intense et pour des cultures très tolérantes; sinon l'eau est inutilisable, car elle est très dangereuse sur sols faiblement drainés et peut présenter dans une certaine mesure un danger sur la plupart des cultures.

3-3- Evaluation de la potabilité des eaux souterraines de TIDIKELT-EST

Afin de définir la potabilité des eaux souterraines de Tidikelt Est, nous nous baserons sur deux types de normes.

3-3-1 Normes des concentrations maximales admissibles des éléments physico-chimique et chimique selon l'O.M.S.

Nous examinons la potabilité des eaux souterraines de Tidikelt Est en les comparant aux normes internationales retenues par l'O.M.S (Organisation Mondiale de la Santé), (Tableau 3).

Tableau 3: les normes applicables aux eaux destinées à l'alimentation en eau potable et le nombre des points d'eau dépassant les normes au Tidikelt Est

Les éléments	Concentration maximale admissible	Nombre des Forages dépassent les normes sur 46 Forages
pH	8,5	0
CE	1250	46
Ca ⁺⁺	200	33
Mg ⁺⁺	150	0
Na ⁺ +K ⁺	162	46
Cl ⁻	600	20
SO ₄ ⁻	400	44
NO ₃ ⁻	50	1

CE : en µS/cm Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄⁻ et NO₃⁻ : en mg/l

Le Tableau 3 des paramètres physico-chimiques et chimiques, nous permettent de tirer les conclusions suivantes :

- Le pH est compris entre 7,37 et 8,43. Selon l’OMS (2004), le pH d’une eau potable doit être compris entre 6,5 et 8,5 les eaux de Tidikelt-Est ont donc un pH voisin de la neutralité.
- La dureté de l’eau (TH) montre que les eaux de consommation sont très dures avec des TH supérieurs à la norme de 50°F. La dissolution du Ca²⁺ et du Mg²⁺ résulte principalement de l’infiltration des eaux de surface à travers les formations rocheuses calcaires et dolomitiques. Cette dissolution est accrue par la présence dans l’eau de gaz carbonique provenant de l’atmosphère et des couches superficielles du sol (Tardat et Beaudry, 1984). La dureté possède des propriétés gênantes telles que formation de dépôts durs dans les canalisations du réseau, gêne dans les opérations de lavage.
- On remarque que 6,5% des échantillons analysés respectent la norme de l’OMS fixée à 2000mg/l en Résidu sec alors que 94,5% des échantillons dépassent cette norme.
- Nos échantillons ont une conductivité très forte qui dépasse 5 ms/cm. Cette conductivité provoque une augmentation dans le taux de la salinité des eaux. La forte conductivité des eaux peut être due à la nature des couches géologiques de la nappe
- Nous observons une forte concentration en chlorures et en sulfates. Ces deux éléments provoquent un goût désagréable dans nos eaux de consommation et la rendent corrosive vis-à-vis des conduites. Ils sont aussi nocifs pour les plantes.
- Les teneurs des échantillons analysés en bicarbonates respectent les Normes à In-Salah, L’origine des bicarbonates est peut-être la dissolution des formations carbonatées par des eaux chargées en gaz carbonique ;
- Tous les points d’eau ont une concentration de nitrates admis aux normes de l’OMS, sauf le forage d’IGOUSTEN (F41) qui dépasse la norme admissible qui être due à la pratique agricole qui consiste à appliquer abondamment des engrais industriels ou du fumier.

En conséquence, nous pouvons dire que les eaux de la région de Tidikelt- Est nécessitent un traitement poussé pour diminuer la minéralisation avant qu’elles ne soient distribuées aux usagers.

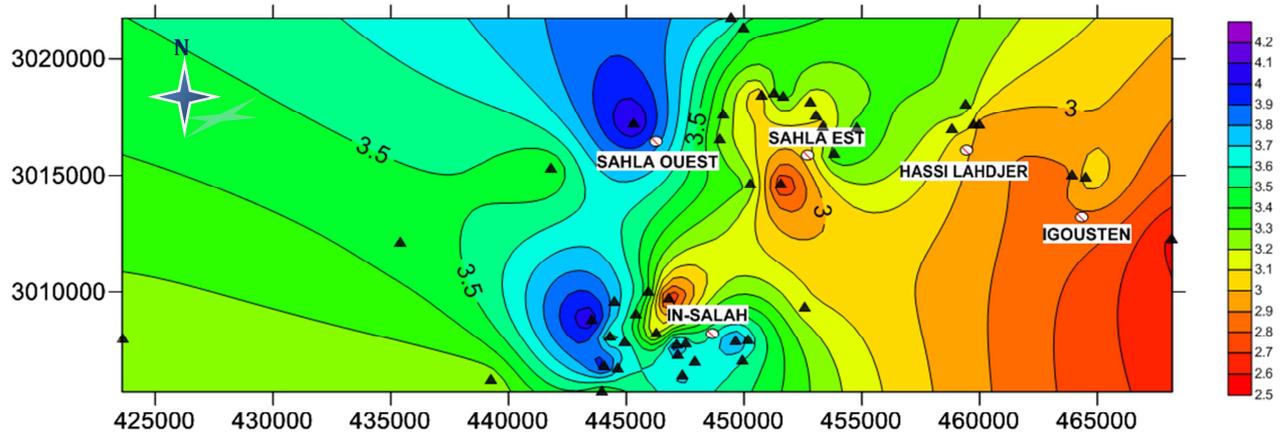


Figure11 : Carte de répartition spatiale de la conductivité électrique à Tidikelt Est

3-3-2 Nomes de degré hydrotimétrique total (D.H.T.)

Le degré hydrotimétrique ou la dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en calcium et en magnésium.

$$D.H.T. = r Ca + r Mg \quad (\text{en méq/l})$$

$$D.H.T. = (r Ca + r Mg) 5 \quad (\text{en degré français } ^\circ F)$$

r Ca : quantité en réaction du calcium exprimée en méq/l ;

r Mg : quantité en réaction du magnésium exprimée en méq/l

Tableau 4: Normes de la dureté et les qualités des eaux souterraines de Tidikelt-Est (Théobald et Gama, 1969)

D.H.T. (en °F)	0-7	7-22	22-32	32-54	>54
Qualificatif de l'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure
Nombre des forages	0	0	0	0	46

Le tableau 4 montre clairement que tout des eaux analysées sont très dures donc présente une mauvaise potabilité,

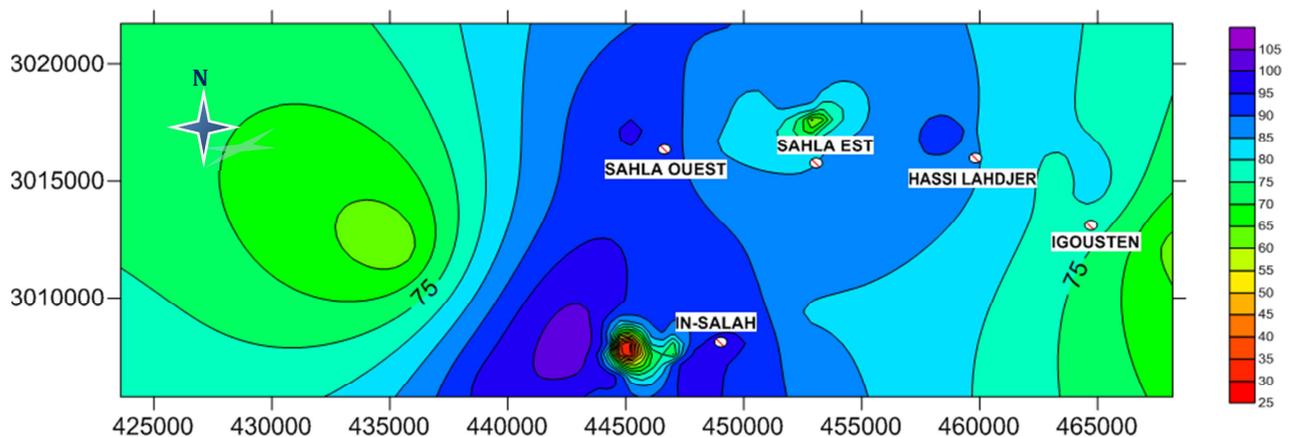


Figure12 : Carte de répartition spatiale de la dureté à Tidikelt Est

4. Conclusion

Ce travail a porté principalement sur la caractérisation et l'évaluation hydro-chimique de la nappe souterraine de Tidikelt Est (principalement In-Salah)

Pour répondre aux objectifs fixés nous avons utilisé un ensemble méthodes de classification, telles que les classifications de Piper montrent l'existence d'un faciès chimique dominant qui est le faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien. Il n'y a pas de cation dominant dans la majorité des eaux analysées avec la présence d'un échantillon où le calcium domine. En revanche parmi les anions, les sulfates dominent dans la plupart des points d'eau observés, suivi par un autre groupe contenant aucun anion dominant.

L'évaluation hydro chimique des eaux souterraines de la région de Tidikelt Est a révélé que la plupart des eaux sont chargées en sels et qu'elles présentent un danger de salinité allant du fort (C3) à excessif (C4). Quant à l'appréciation du danger d'alcalinité, les eaux se distinguent par les classes de danger allant du faible (S1) au fort (S3). Même si la texture des sols d'In-Salah est à dominante sableuse, le drainage naturel ou artificiel est obligatoire. Du point de vue potabilité, la majorité des eaux de la nappe souterraine sont de qualité médiocre et donc impropre à la consommation humaine, sauf quelques points d'eau à l'instar des points (F39), (F40) et (F41) qui sont relativement moins chargés en sels.

En conclusion, nous pouvons classer les eaux de la région de Tidikelt Est comme étant des eaux chloruré et sulfaté calcique et magnésien, très dure, de minéralisation excessive. Ces caractéristiques physico-chimiques définissent ces eaux comme étant des eaux saumâtres nécessitant un traitement spécifique.

Nous recommandons :

- Installer une station de déminéralisation dans la région ou un réseau de traitement par la dilution de ces eaux par des eaux peu chargées en sel ;
- Optimiser l'irrigation et installer un réseau de drainage pour éviter une salinisation secondaire du sol ;

5. References

- [1] AGENCES DE L'EAU (France); *Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines* «Rapport de présentation», V-1, 75p. (2003)
- [2] AYERS R.S., WESTCOT D.W ; La qualité de l'eau en agriculture. Bulletin F.A.O. Irrigation Drainage, n.29, 97p. (1976).
- [3] BOUCHKIMA .B, *L'eau De La Nappe Albienne Du Sud Algérien* ; Journées techniques et scientifiques des eaux du Sud, 19 et 20 mai 2003
- [4] BRL, BNEDER.; Plan Directeur Général de Développement des Régions Sahariennes Les ressources en sols, Ministère d'agriculture-Algérie, (1998).
- [5] DEGREMONT .SA ; *Mémento technique de l'eau*, Degrémont Edition 10-1579p. (2005).
- [6] DRE TAMANRASSET ; Inventaire des forages d'eau dans la région de Tidikelt; «Rapport technique». (2010) .
- [7] MAZA.N; *Qualité et quantité des eaux en irrigation dans les régions sahariennes* ; Journées techniques et scientifiques des eaux du Sud, (2003).
- [8] NESSON C, SARI D. ET PEILLON P; *L'évolution des ressources hydriques dans les oasis du Bas Sahara Algérien*. Recherches sur l'Algérie, vol.17, p. 7-100. (1978)

- [9] RODIER.J; Analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Paris, Dunod, 1579p (2009).
[10] SEDAT; Etude et Système du Drainage de la région de Tidikelt ; « Rapport technique ». (2011).