CARACTERISATION HYDROGEOCHIMIQUE DES EAUX GEOTHERMALES DE LA NAPPE DU CONTINENTAL INTERCALAIRE DE LA REGION DE L'OUED RIGH.

W.CHAIB[1], N. BOUCHAHM[1], N. HARRAT, F.ZAHI[1], N BOUGHERIRA[1] et L. DJABRI[2]
[1]CRSTRA Division Eau et sols
[2]Université Badji Mokhtar Annaba / Chercheur associé au CRSTRA

RESUME

La présente étude a intéressé la nappe du Continental Intercalaire de la région d'Oued Righ, qui s'étend du Sud de la palmeraie d'El Goug jusqu'au chott Merouane, et a fait l'objet d'une étude hydrogéochimique. L'aquifère est contenu dans les formations du Crétacé Inférieur (Albien et Barrémien), constitué par des sables et grès mêlés parfois argileux.

L'interprétation des résultats des analyses réalisées montré que ces eaux sont relativement riches en sulfates, chlorures, s'accompagnant soit de calcium soit de sodium, conférant aux eaux les faciès chlorurés calciques ou chlorurés sodique. Ces derniers caractérisent la première famille des eaux. La seconde est constituée par les eaux sulfatées calciques ou sodiques.

La présence de ces faciès est probablement influencée par les formations à l'affleurement.

Les indices de saturations calculés montrent une sous-saturation vis-à-vis de quelques minéraux, tel que l'aragonite, l'halite …

La classification de Richards a permis de classer les eaux Albiennes de la région d'étude, elle donne une vision sur l'aptitude des eaux à l'irrigation.

Mots clés *: Oued Righ, Continental Intercalaire, irrigation, faciès chimique.*

ABSTRACT

The present study has interested the continental intercalaire aquifer of the Oued Righ region extends from southern palmeraie El Goug to Chott Merouane,and was the subject of a hydrogeochemical study this aquifer is contained in the formations of Lower Cretaceous (Albian and Barremian), constituted by argillaceous sands and mixed sandstone.

The interpretation of the results of the analyses showed that these waters are relatively rich in sulfates, chlorides, accompanied either by calcium or of sodium, conferring on water calcium chloride type or sodium chloride type, the latter characterize the first Family of water, and the second is consisted by calcium or sodium sulfated water.

The presence of these facies is probably influenced by the formations with the outcrop.

The indices of saturations calculated show subsaturation with respect to some minerals such as the aragonite, halite...

The classification of Richards made it possible to classify Albian water of the study area; it gives a vision on the water aptitude to irrigation.

Keywords*: Oued Righ, continental intercalaire, irrigation, chemical facies.*

I. INTRODUCTION

Les besoins en eau de la vallée de l'Oued Righ sont assurés à partir des ressources souterraines contenues dans les nappes du Complexe Terminal et le Continental Intercalaire. Ce dernier constitue un grand réservoir qui couvre une superficie réservoir de 600.000 Km^2. En Algérie il est localisé dans la partie septentrionale du Sahara et il s'étend jusqu'à la Tunisie et la Libye. Ce réservoir affleure au sud, il est semi-libre à l'Ouest et captif dans sa partie orientale (MOHAMEDOU, 2005). Du point de vue géothermique, la partie orientale est la plus prometteuse. Les températures enregistrées varient entre 50-70°C. Certains forages débitent à 400l/s. Ce réservoir offre des eaux géothermiques chaudes chargées en sel qui doivent être refroidies pour qu'elles soient utilisables en agriculture (irrigation des palmerais) (Ouali S., 2006- OUALI S., et al. 2007)

II. CARACTERISTIQUES DE LA REGION D'ETUDE

La vallée de l'Oued Righ est une entité géographique s'étalant sur 150 km de longueur et 20 à 30 km de largeur. Elle est présente au niveau des wilayas d'El-Oued et d'Ouargla. Elle est limitée au Nord par le plateau de Still, à l'Est par l'Erg Oriental, au Sud par l'extension de l'Erg oriental et à l'Ouest par le plateau gréseux. Cette région est caractérisée par une dépression allongée du sud au nord (vers les grands chotts), l'altitude passe progressivement de +100 m dans El-Goug en amont (la côte la plus haute) à – 30 m à chott Merouane en aval (DUBOST, 1992). Les formations à l'affleurement sont d'âge quaternaire, caractérisées par des alternances entre dépression et élévation. Cette irrégularité offre au paysage une succession de petit chott communicant entre eux par des seuils bas et aussi par un relief peu marqué reposant sur les formations Mio-Pliocène et Eocène qui s'enfoncent progressivement vers le Nord (SOGREAH, 1971). Par ailleurs la vallée de l'Oued Righ est située dans un lit fossile (Oued Igharghar) d'un large fossé de subsidence de direction Sud-nord, suivant une pente longitudinale de 1‰ depuis El Goug jusqu'à chott Marouane.

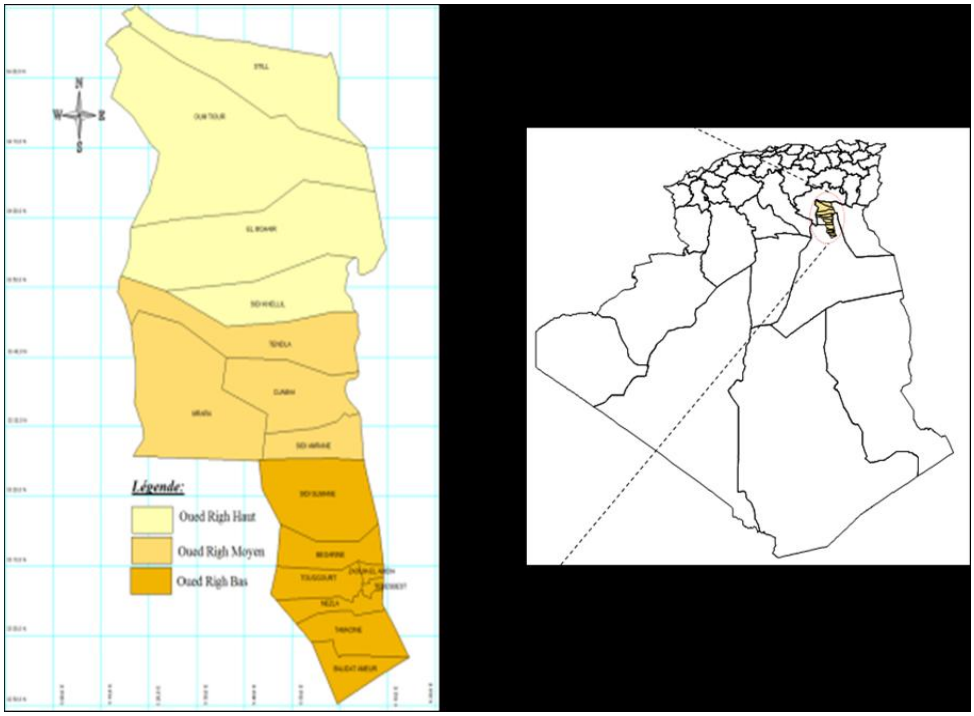

Figure 01 : Carte de situation géographique de l'Oued Righ

III. Cadre général et hydrogéologique

La ressource en eau souterraine dans la région est contenue dans les deux grands systèmes aquifères qui sont : le Complexe Terminal (CT) et le Continental Intercalaire (CI) tous deux surmontés par la nappe phréatique qui est présenté dans l'ensemble des oasis (fig.2). D'une capacité globale de plus de 30 000 milliards de m^3, la nappe du Continental Intercalaire, est artésienne. Elle contient la plus grande réserve d'eau souterraine dans le Sahara algérien. Cette nappe est surmontée par une nappe libre caractérisant la nappe du complexe terminal (fig.3).

Le réservoir aquifère du continental intercalaire est particulier par son volume considérable du, à la fois à son extension sur plus de 600.000 km^2 et à son épaisseur moyenne de plusieurs centaines de mètres (UNESCO, 1972). De grands volumes d'eau y ont été stockées pendant les périodes pluvieuses du Quaternaire.

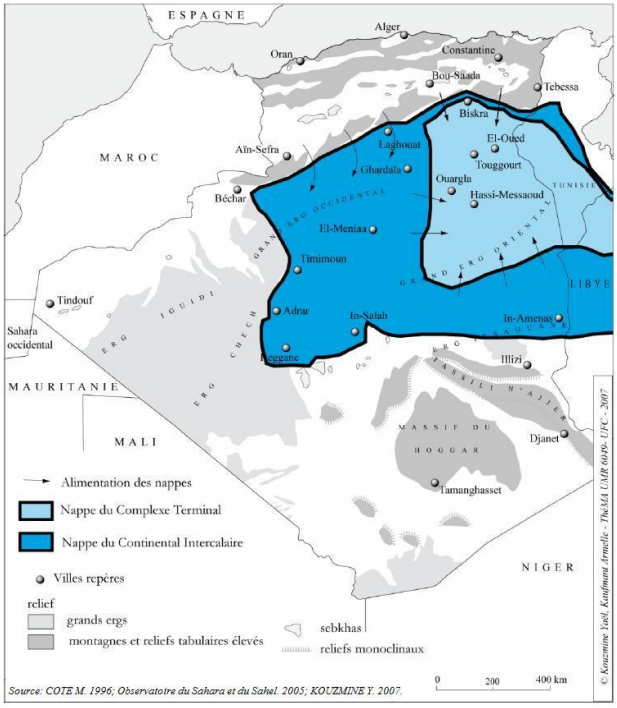

Figure 02: Les nappes aquifères du Sahara Algérien ;
Le Continental Intercalaire - Le Complexe Terminal (in KOUZMINE Y.2007)

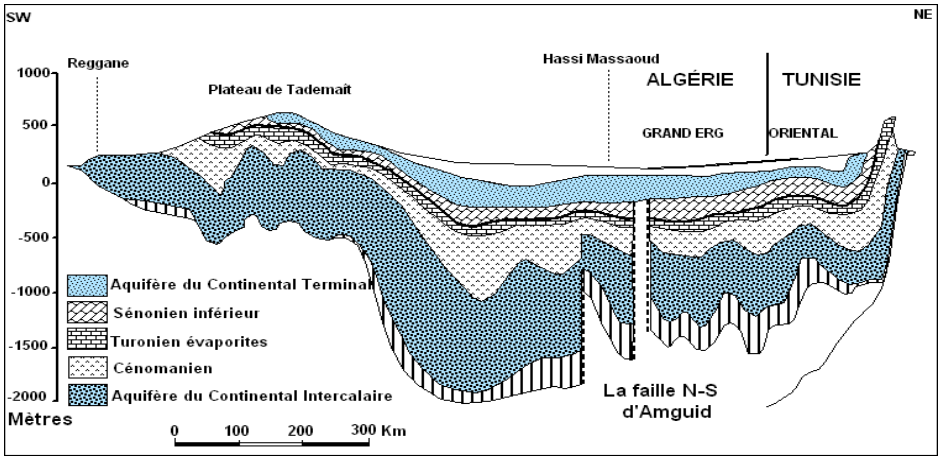

Figure 03: Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara septentrional (UNESCO 1972).

IV. MATERIELS ET METHODES

En partant du constat que la région de l'Oued Righ, la nappe albienne est exploitée par 26 forages, dont 16 forages sont équipés par des stations de refroidissement et sont destinés à l'irrigation, nous avons sélectionné d'entre eux13forages qui ont l'objet de ce travail au mois de Novembre 2010 (fig.4).

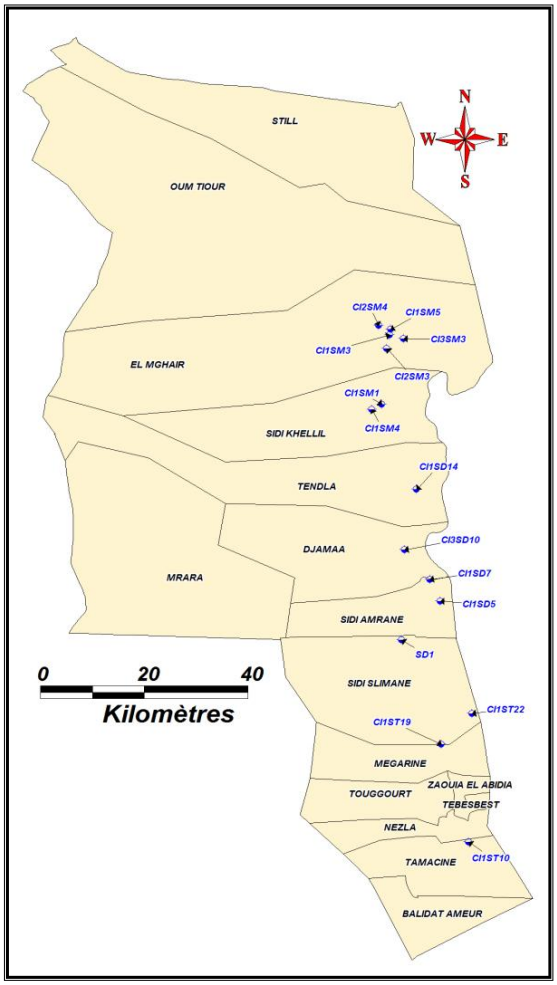

Figure 04: Carte d'inventaire des forages captant la nappe Albienne de la région de l'Oued Righ.

Mesures in situ : quatre paramètres physico-chimiques (pH, Salinité, CE, et la température) sont mesurés *in situ,* immédiatement après le prélèvement de l'échantillon et à l'aide d'une valise multi paramètres (*Multi 350i/SET)*

Les échantillons prélevés sont transportés jusqu'au laboratoire dans une glacière et conservés dans un réfrigirateur à -4° avant leurs analyses chimiques.

Analyse des éléments chimiques

Les analyses chimiques sont réalisées au laboratoire central du CRSTRA (Laboratoire Eau & Sol). Elles ont porté sur les éléments chimiques majeurs suivants:

• Les cations: Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+} et K^{+}.

• Les anions: Cl^{-}, SO_4^{2-}, HCO_3^{-} et CO_3^{2-}.

V. RESULTATS ET DISCUSSIONS

V.1. Variations des paramètres physiques

Le pH : Les valeurs du pH, mesurées, montrent qu'au niveau de la nappe de l'Albien, la valeur du pH, oscille entre 7.52 à 8.97. Par contre après refroidissement elle oscille entre 8.52 et 10.58, ce qui indique un passage à un pH basique. De ce fait, on assiste à un accroissement des concentrations des ions carbonatés (CO_3^{2-}).

La température : Cette dernière varie entre 47.5 et 60.4°C. Ce qui classe ces eaux dans la catégorie de la géothermie basse énergie. Pour les exploiter la température de ces eaux doit être abaissée autour de 27-35°C.

La minéralisation : Les eaux géothermales de la région de l'Oued Righ sont souvent fortement minéralisées. Les valeurs de la salinité oscillent entre 1200 et 1800 mg/l, soit une conductivité électrique oscillant entre 2090 et 3450 µs/cm.

V.2. Les familles des eaux

La représentation des données physico-chimiques par le diagramme de Piper (fig.5), montre une variabilité du faciès chimique des eaux (des forages Albiens et stations de refroidissement). Ces derniers sont positionnés entre deux pôles :

- Le pôle salifère qui se caractérise par un faciès chloruré sodique surtout sur les forages SD1, SD5, ST10. Cela est du à l'existence des lentilles évaporitiques.
- Le pôle du sulfaté sodique du à la dissolution des formations gypseuses (CaSO4).

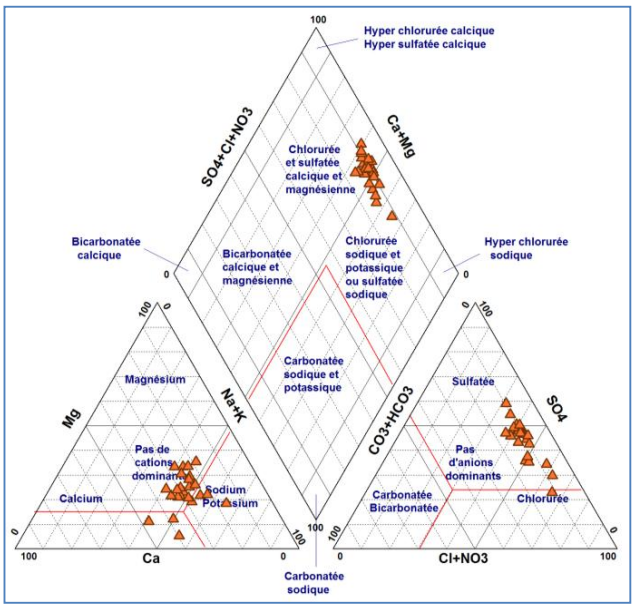

Figure 05: Diagramme de Piper des eaux de l'aquifère Albien**.**

V.3.Origines de la minéralisation :

On détermine ici l'origine géologique des éléments chimiques à partir de la bonne corrélation qui existe entre eux. La représentation graphique (fig.6) de l'évolution du Cl^- en fonction de Na^+ a montré un excès des teneurs en Na^+, qui s'explique par l'existence, autre que l'halite d'une autre origine pour les ions sodique (autre que l'Halite).

La projection des différents points sur le diagramme $Ca^{+2}/(HCO^-_3+ SO_4^{+2})$, Na^+/Cl^- (fig.6) montre que 61.53% des points d'eau subissent un échange de base et 30.77% des points présentent l'état naturel.

D'après l'interprétation des graphiques illustrants les relations (Na^+- Cl^-, Ca^{+2} - (HCO^-_3+ SO_4^{+2}), on constate que cette augmentation des teneurs en Na^+ est due au phénomène d'échange de base. Les argiles du substratum peuvent libérer des ions Na^+ après avoir fixé le Ca^{+2}.

Les fortes teneurs en sodium et en Cl^- sont attribuées à la dissolution de l'halite contenue dans les évaporites.

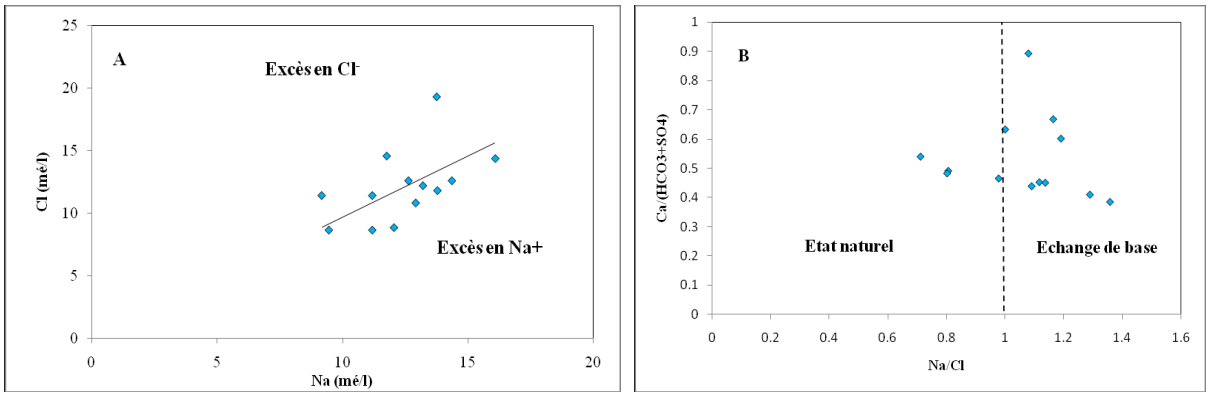

Figure 06: Détermination de l'origine du sodium

V.4.Notion d'Indice de saturation :

Pour déterminer l'influence des éléments chimiques, nous avons utilisé l'outil thermodynamique par le calcul de l'indice de saturation. D'après la loi d'action de masse, pour une solution aqueuse en équilibre avec un minéral, le produit d'activité ionique (IAP) du minéral est égal à la constante d'équilibre (K_{SP}) thermodynamique. Le degré de saturation d'une eau peut être représenté par

$$\mathbf{IS = Log\ (PAI/K_{SP})}$$

Cette constante K caractérise l'équilibre établi dans un système réversible qui cesse d'évoluer (pour une température donnée).

Notons que IS sera respectivement nul, positif et négatif pour une solution en équilibre avec la phase solide minérale considérée, pour une sur- saturation et pour une sous-saturation vis-à-vis des éléments ioniques concernés.

Variation de l'indice de saturation : les résultats obtenus après calcul sont dans le tableau1.

L'observation du tableau 1 montre que les indices de saturation sont négatifs, indiquant une sous saturation vis-à-vis des minéraux suivants : La calcite, la dolomite, l'aragonite, l'anhydrite, le gypse et l'halite.

Le graphe (Fig.7), confirme cette tendance et montre que la calcite, l'aragonite, l'anhydrite et le gypse, réagissent en même temps, par contre l'halite, avec un IS faible.

En effet, une éventuelle dissolution des ces minéraux peut contribuer à l'acquisition de la minéralisation des eaux souterraines.

Le calcul de l'indice de saturation des différents minéraux dans l'eau indique que seuls les minéraux carbonatés ont tendance à atteindre l'équilibre.

Par contre, les minéraux évaporitiques sont toujours à l'état de sous saturation, malgré les fortes concentrations qu'ils acquièrent.

Tableau 01: Evolution des indices de saturation des minéraux (Novembre 2010)

Forage	Minéraux Carbonatés			Minéraux évaporitiques		
	Calcite	Dolomite	Aragonite	Anhydrite	Gypse	Halite
CI1ST22 F	-0.3	-0.51	-0.44	-1.04	-0.82	-5.37
CI1ST19 F	-0.25	-0.48	-0.39	-1.04	-0.82	-5.5
CI1ST10 F	-0.33	-0.45	-0.48	-1.14	-0.92	-5.31
CI1SD14 F	-0.26	-0.56	-0.4	-0.97	-0.75	-5.62
CI3SD10 F	-0.2	-0.45	-0.35	-1.16	-0.94	-5.51
SD1 F	-0.27	-0.39	-0.41	-1.28	-1.07	-5.47
CI1SD5 F	-0.08	-0.9	-0.22	-1.05	-0.83	-5.51
CI1SD7 F	-0.22	-0.53	-0.37	-1	-0.78	-5.51
CI2SM3 F	-0.29	-0.53	-0.43	-1.01	-0.79	-5.59
CI3SM3 F	-0.46	-0.51	-0.6	-1.26	-1.04	-5.7
CI1SM5 F	-0.42	-0.66	-0.56	-1.09	-0.87	-5.74
CI1SM3 F	-0.22	-0.26	-0.37	-1.17	-0.95	-5.81
CI1SM1 F	-0.32	-0.62	-0.46	-0.98	-0.76	-5.53

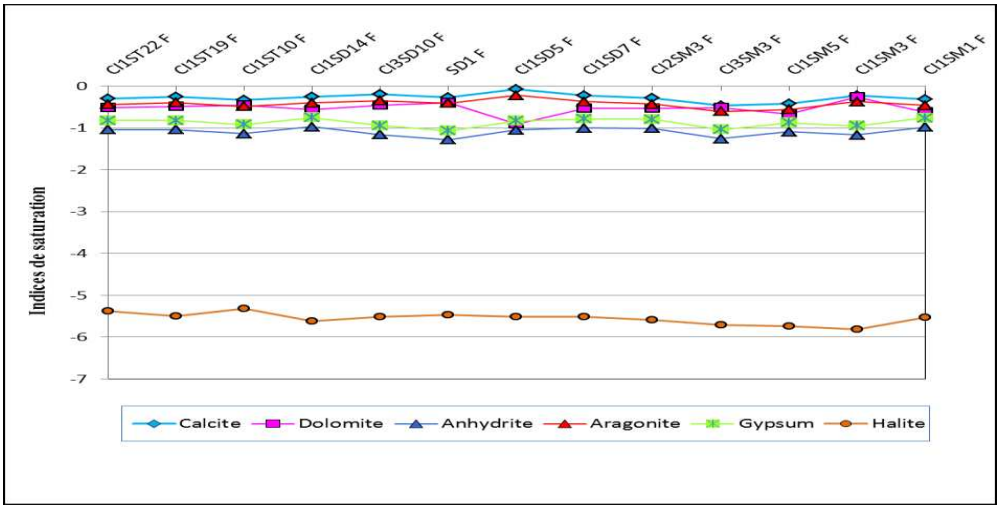

Figure 07 : Variation de l'indice de saturation des minéraux (Novembre 2010)

Corrélations des indices de saturation :

Nous allons nous intéresser à la variation des indices de saturation l'un par rapport à l'autre.

***IS calcite-Is Aragonite et IS anhydrite-Is Gypse: (fig.8)**

Nous remarquons au niveau des deux graphes que les indices, s'alignent suivant Les sulfates présentent une corrélation moins significative avec le Gypse du fait que le sulfate ne provienne pas uniquement du Gypse mais également de l'Anhydrite, ce qui confirme l'origine évaporitique des sulfates par dissolution de l'Anhydrite et du Gypse.

De même, les chlorures et le sodium se corrèlent bien avec l'Halite, ce qui confirme l'origine commune des deux éléments par dissolution de l'Halite.

une droite, ce qui démontre que les formations carbonatées et les formations évaporitiques, sont attaquées par les eaux (dissolution), donnant ainsi les deux minéraux provoquant la salinité observée.

Relation indice de saturation –élément chimique :

La baisse des teneurs en Mg++ est liée à l'existence d'une autre source de Mg++ qu'est la dolomite (augmentation de l'indice de saturation).

Pour le calcium présente une excellente corrélation avec le Gypse, la Dolomite et la Calcite indiquant que l'origine de calcium est très probablement liée à la dissolution de ces minéraux.

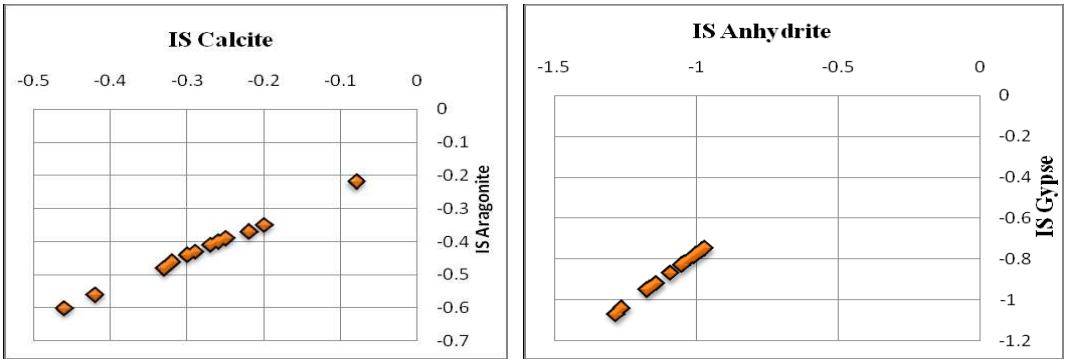

Figure 08 : Variations des indices **de saturation**

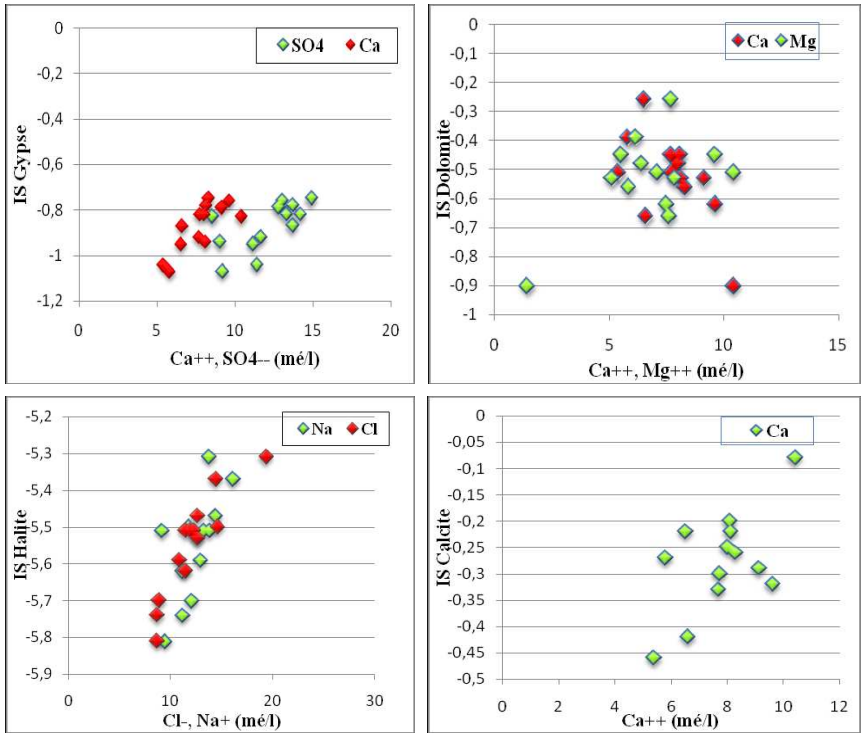

Figure 09: Evolution des indices de saturation (IS) en fonction des principaux éléments constitutifs du minéral concerné

Aptitude des eaux géothermales de la région de l'Oued Righ à l'irrigation

La qualité des eaux d'irrigation est un paramètre important à considérer, non seulement dans l'étude de l'impact direct sur les produits agricoles, mais aussi dans celle de l'impact indirect sur les sols par modification de leurs propriétés physiques et chimiques (SUAREZ et *al.*, 2006)

L'accumulation des sels hydrosolubles dans le sol d'enracinement influe négativement sur la croissance des plantes, on a recensé deux séries d'effets de la salinité (FORGES , 1972) **:** les uns portent sur les végétaux, les autres sur le sol. En effet, ces sels causent des changements de la perméabilité et de l'aération du sol d'une part, et d'autre part ils provoquent des perturbations du métabolisme des plantes et du processus osmotiques de ces dernières.

Dans le but d'étudier la qualité des eaux de l'aquifère à l'irrigation, on a fait recours à la méthode de Richards. Il met en évidence différentes classes d'eau qui ont été définies sur la base du sodium absorbable (Sodium Absorption Ratio, SAR). Le SAR est défini par la relation suivante :

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

Tous les ions sont exprimés en méq/l.

Après avoir reporté tous les points d'eau sur le diagramme de Richards on a pu dégager la présence des quatre classes suivantes :

- Les classes C3S1, C3S2 : généralement, ces deux classes renferment des eaux admissibles pour l'irrigation des cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité et la salinité doit être contrôlée. La classe C3S1 représente le forage CI1SM3, alors que la classe C3S2 représente les forages CI3SM3 et CI1SM5 qui se trouvent dans la région de Mghair;

-Les classes C4S1, C4S2: elles représentent les eaux médiocres fortement

minéralisées, susceptibles de convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés et lessivés. La majorité des forages appartenant à la classe C4S2.

La classification de Richards a prouvé la dégradation de la qualité des eaux pour l'irrigation.

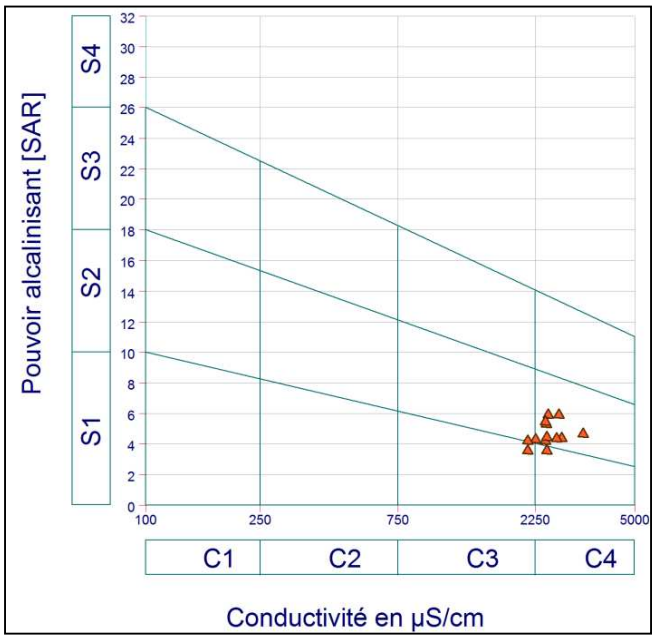

Figure 10 : Diagramme de Richards des eaux géothermales de la région de l'Oued Righ Novembre, 2010

CONCLUSION

L'interprétation des données analytiques par les différentes méthodes, a montré que les eaux géothermales de la nappe albienne dans la vallée de l'Oued Righ sont caractérisées par des gradients de température (55 à 65 °C), un pH assez proche de la neutralité avec une tendance vers la basicité après le refroidissement et une forte minéralisation atteignant 2 g/l, avec la dominance de deux faciès chimiques, l'un chloruré sodique et l'autre sulfaté sodique. Pour la mise en évidence de la relation entre la géologie et l'hydrochimie de l'aquifère étudié nous avons orienté nos recherches vers l'aspect géochimique. Les eaux de la nappe Albienne de l'Oued Righ sont sous-saturées vis-à-vis des minéraux carbonatés et évaporitiques. En effet, une dissolution des ces minéraux semble contribuer à l'acquisition de la minéralisation de ces eaux souterraines.

D'une manière globale, les eaux sont médiocre à admissible pour l'irrigation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **DUBOST D., 1992 ;** Ecologie, Aménagement et développement Agricole des Oasis Algériennes. 423 p. Edition CRSTRA 2002, N° Dépôt légal ; 1092-2002.

2. **FORGES M., 1972**: Irrigation et salinité. CIHEAM, options méditerranéennes. Pages 40-45.

3. **MOHAMEDOU OULD BABA SY, 2005 :** Recharge et paléorecharge du système aquifère du Sahara Septentrional. Thèse de Doctorat, Univ. de Tunis el Manar. Tunisie, 271p.

4. **OUALI SALIMA, 2006 :** Etude géothermique du sud de l'Algérie. *Mémoire de Magister, Univ. M'hamed Bouguerra Boumerdes, 84p.*

5. **OUALI S., KHELLAF A. et BADDARI K., 2007 :** Etude des ressources géothermiques du sud algérien. Revue des Energies Renouvelables Vol. 10 N°3 (2007) 407 – 414.

6. **SOGREAH, 1971:** Participation à la mise en valeur de l'Oued Righ. Ministère des travaux publics ; Serv. Et. Scient., Alger, 5volumes.

7. **SUAREZ DL, WOOD JD, LESCH SM., 2006***:* Effect of SAR on water infiltration under a sequential rain-irrigation management system. Agric water Manage; 86:150-64.

8. **UNESCO., 1972 :** Etude des ressources en eau du Sahara Septentrional (Etude ERESS). Rapport Technique 6,44pp.

9. **YAËL KOUZMINE, 2007 :** Dynamiques et mutations territoriales du sahara algérien vers de nouvelles approches fondées sur l'observation. Univ.de Franche-Comté, Thèse de doctorat, 1ere partie 147p.