

# EVOLUTION DE LA MINERALISATION ET TRAITEMENT DE LA DYNAMIQUE DES SELS AU SIEN DU SOL ET DE L'EAU PHREATIQUE AU NIVEAU DE LA SEBKHA DE OUARAGLA

Med Hichem BOUTELLI<sup>1</sup> & Nabil MEKHOULFI<sup>2</sup> & Abdelmalek LAHRACH<sup>3</sup>

1-Université de Ghardaia. Algérie

2 et 3-Université Kasdi Merbah-Ouargla. Algérie

[Medhichem\\_boutelli@yahoo.fr](mailto:Medhichem_boutelli@yahoo.fr)

## RÉSUMÉ :

Pour comprendre l'évolution de la salinité dans le milieu hydro-édaphique, une étude physico-chimique des différentes formations constitutives est menée suivant un profil Nord-Sud. Six Piézomètres et sondages ont été installés permettant l'échantillonnage périodique des sols et des eaux phréatiques et le suivi de la minéralisation.

L'analyse physico-chimique de l'extrait de sol 1/5 affirme la forte salinité des échantillons prélevés. Les valeurs de conductivité électrique à 25 °C variant entre 3,15 et 24,26 dS.m<sup>-1</sup>. Le taux des insolubles dépasse les 80%, le gypse représente plus de 12 % alors que le calcaire est négligeable (<2%). Les eaux de la nappe phréatique au niveau de la Sebkhha de Ouargla, se caractérisent par une conductivité électrique très importante et traduit une minéralisation excessive des eaux de cette nappe.

Le profil horizontal de sondages et le suivi de la nappe phréatique, indiquent une accumulation des sels au Sud de la Sebkhha vers le Nord. Dans le sens vertical, les teneurs en gypse diminuent dans les horizons plus profonds, ce qui signifie une migration ascendante des sels à la surface du sol (remontée capillaire des sels). Cette migration forme une croûte saline épaisse, de 3 à 12 cm.

**Mots clés : Minéralisation, Milieu hydro-édaphique, Mouvement des sels, sebkhha**

## 1. Introduction :

Les sebkhhas sont des écosystèmes naturels, qui présentent des intérêts très diversifiés. Ces systèmes sont utilisés comme des indicateurs de l'évolution géochimique naturelle. Ces sebkhhas sont des dépressions peu profondes, renfermant de l'eau salée pendant de longues périodes, ne s'asséchant généralement qu'aux plus fortes canicules de l'été. Certaines d'entre-elles peuvent même rester humides toutes l'année.

La nappe superficielle, particulièrement phréatique du Sahara, qui est alimentée par les pluies, les crues des oueds et les eaux de drainage, ou encore par les fuites dans les forages exploitant les nappes sous-jacentes du système aquifère (CT et CI). Elle subit actuellement des remontées spectaculaires de son niveau piézométrique et une dégradation continue de sa qualité chimique.

Les objectifs fixés dans le cadre de ce travail de recherche est de caractériser la salinité au sein des constituants de l'écosystème oasien, principalement les éléments sol et eau, et de traiter la dynamique des sels dans le milieu hydro-édaphique

## 2. Situation géographique

Nos travaux ont été menés sur la sebkhha de Ouargla, cette dernière située à quelques kilomètres au Nord-ouest du centre de la ville de Ouargla, est considérée comme une bande allongée géographique et s'étale sur une superficie de 1838 ha environ. L'altitude varie entre 131,5 m et 130,8 m dans une région marquée par un climat aride. La Sebkhha de Ouargla est caractérisée par la présence d'une nappe phréatique de faible profondeur, les eaux de cette nappe soumises à une forte évaporation ont tendance à se concentrer et les sols à se saler. La sebkhha est limitée au Nord par un terrain vierge, au sud par l'agglomération et les Oasis de Ouargla ; à l'est par les Oasis et les Chotts d'Oum-Er-Raneb et de Aïn Beïda et à l'ouest par les oasis et l'agglomération de Bamendil.

### 3. Echantillonnage:

Pour caractériser Nous avons implantés six (06) piézomètres et (06) sondages alignés avec une distance 1Km entre les deux dans la sebkha de Bamendil d'une manière permettant de couvrir le maximum de la Sebkha. La profondeur de ces sondages varie entre 1,7 m et 3,30 m, le prélèvement des échantillons des sols est effectué par des horizons de la surface jusqu'à la profondeur, chaque horizon épaisse 50 cm.

Le prélèvement des échantillons est réalisé par une tarière manuelle concernant les différents horizons. Ces échantillons sont portés au laboratoire pour une mesure de leur conductivité électrique (CE) et leur concentration des sels réalisée sur un extrait dilué1/5.

Pour l'eau phréatique Nous avons procédé à la mesure des niveaux initiaux des eaux phréatiques dans les différents piézomètres, puis au prélèvement périodique des échantillons d'eaux pour les analyser aux laboratoires.

### 4. Résultats des analyses

#### 4.1. Sol

Vingt-quatre échantillons ont été portés au laboratoire pour une mesure de leur conductivité électrique (CE) et leur concentration des sels réalisée sur un extrait dilué1/5. L'analyse des échantillons ont été effectuée au laboratoire de LTPS.

**Tableau n°1. Résultats analytiques de caractérisation du sol**

Caractéristiques	Unité	Sondages						
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	
CE à 25 °C	dS/m	8,46	4,57	7,42	3,61	15,46	12,52	
Salinité	g.l <sup>-1</sup>	5,41	2,92	4,75	2,31	9,89	8,01	
Résidu sec		6,55	4,49	5,67	3,40	12,21	10,59	
PH		7,16	7,09	7,65	7,65	7,37	7,82	
Humidité	%	9,60	37,05	19,63	35,88	10,99	19,09	
Taux du Calcaire		4,03	0,98	1,60	1,30	0,50	3,17	
Taux du gypse		3,42	5,60	2,74	8,31	4,11	6,71	
Teneur en sels solubles dans l'extrait 1/5	Na <sup>+</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	1285,00	455,00	806,56	320,00	1967,30	1763,33
	K <sup>+</sup>		84,00	30,00	57,28	61,00	115,74	113,33
	Ca <sup>+2</sup>		1006,01	681,36	636,27	813,62	903,40	1035,40
	Mg <sup>+2</sup>		170,14	157,99	118,50	138,54	154,55	255,20
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		55,58	47,45	107,19	65,07	56,53	29,37
	Cl <sup>-</sup>		2509,00	949,79	1625,10	650,29	4306,15	3436,91
	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>		2690,00	1900,00	1862,66	2020,00	2585,36	2983,33
ESP	%	11,24	4,56	8,78	2,70	17,65	13,82	

#### 4.2. Eau phréatique:

L'échantillonnage de l'eau se fait périodiquement (Avril, Juillet, Octobre). La mesure de la salinité est estimée directement sur le terrain par la conductivité électrique à l'aide d'un multi-paramètre de terrain. Les concentrations des sels sont mesurées au laboratoire.

**Tableau n°2. Résultats analytiques de caractérisation de l'eau phréatique**

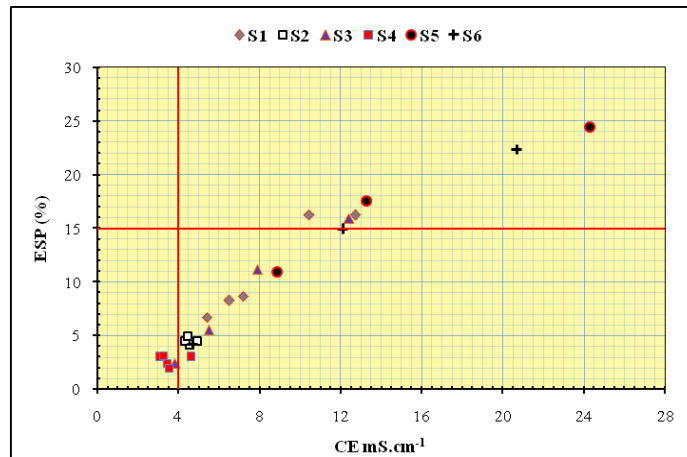
Caractéristiques	Unité	Piézomètre			
		P2	P4	P5	P6
Profondeur d'eau	m	1,01	1,07	1,35	1,37
Température	°C	26,10	24,92	27,37	26,37
Résidu sec	g.l <sup>-1</sup>	79,20	38,76	380,94	261,62

Salinité			38,41	25,57	141,93	134,91
PH			8,03	8,05	7,29	7,28
CE		dS.m <sup>-1</sup>	59,85	39,96	221,76	210,64
Teneur en sels	Na <sup>+</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	11325,00	8458,33	65533,33	68141,67
	K <sup>+</sup>		525,00	375,00	3533,33	3375,00
	Ca <sup>+2</sup>		1249,16	1169,00	1523,04	2591,84
	Mg <sup>+2</sup>		4597,70	2855,84	11552,98	11536,77
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		357,50	212,38	257,91	885,70
	Cl <sup>-</sup>		19251,20	10267,35	186974,84	143160,54
	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>		18958,33	12814,67	24109,00	27403,00

## 5. Interprétation et discussion des résultats:

### 5.1. Classification des sols salés de la Sebka

Pour bien illustrer les catégories les plus dominantes des sols au niveau de la sebka de Bamendil, nous avons replacé, la conductivité électrique de la solution 1/5 du sol, en ordonnée, et le pourcentage du sodium échangeable en abscisse.



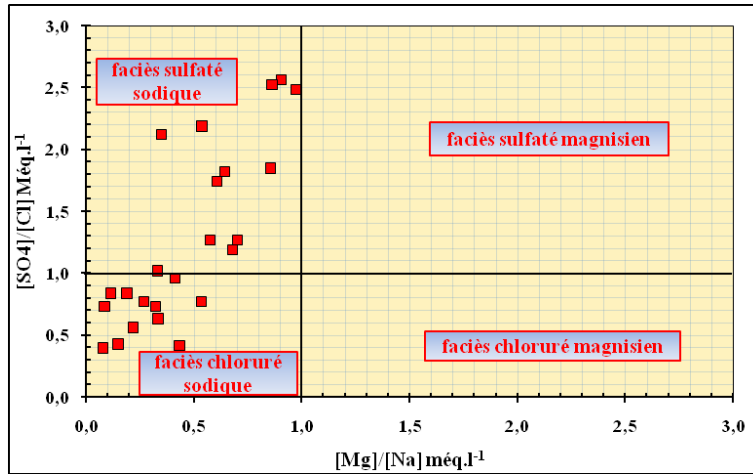
**Fig n°1. Classification des sols salés de la Sebka de Ouargla**

Le graphique ci-dessus montre que la plupart des échantillons sont situés dans la catégorie du sol salin ( $CE > 4 \text{ mS.cm}^{-1}$  et  $ESP < 15\%$ ). Ces sols présentent des teneurs plus ou moins faibles en Na, mais riches en sels blancs (chlorures, sulfates, carbonates de calcium ou magnésium). Généralement à l'état floclé, pour ces sols le lessivage est efficace.

La deuxième catégorie dominante est le sol salin à alcalin ( $CE > 4 \text{ mS.cm}^{-1}$  et  $ESP > 1\%$ ). Elle est représentée aux sondages n°1, 5 et 6 à une profondeur, variant entre 1,0 et 2,0 m. La perméabilité de ces sols dépend du rapport entre CE- ESP, de la teneur et de la nature de la fraction argileuse des sols.

### 5.2. Faciès géochimique du sol

La projection des différents points sur le diagramme ( $Mg^{2+}/Na^+ : SO_4^{2-}/Cl^-$ ), nous donne une vue d'ensemble sur la répartition spatiale des faciès géochimiques au niveau de la nappe phréatique et au niveau du sol de la sebka de Ouargla.

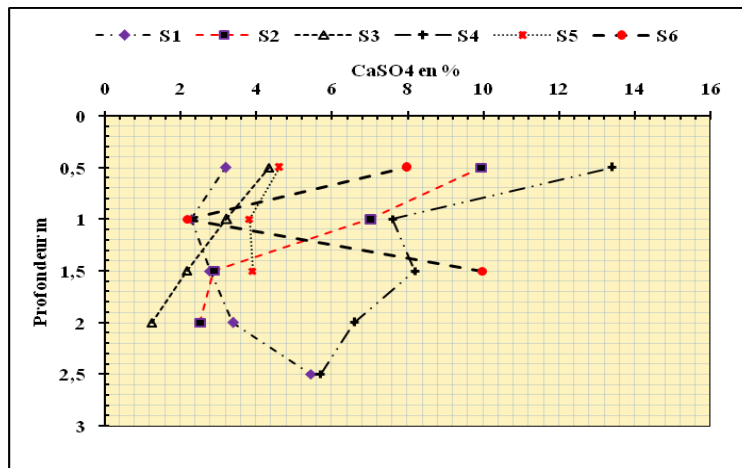


**Fig n°2** Faciès géochimiques du sol par les rapports  $Mg^{2+}/Na^+ - SO_4^{2-}/Cl^-$

Le diagramme montre deux faciès dominant dans le sol, le faciès chloruré sodique (54,16 % des échantillons), et par un degré moindre le faciès sulfaté sodique 45,84 % des échantillons).

### 5.3. Gypse dans le sol

Le gypse est un minéral tendre, de densité 2,3 g/cm<sup>3</sup>, de structure granulaire, lamellaire ou fibreuse. Il est de couleur blanche et prend quelquefois du fait de différentes impuretés des couleurs grises, rougeâtres, jaunâtres et noires. Il se dissout facilement dans l'eau.

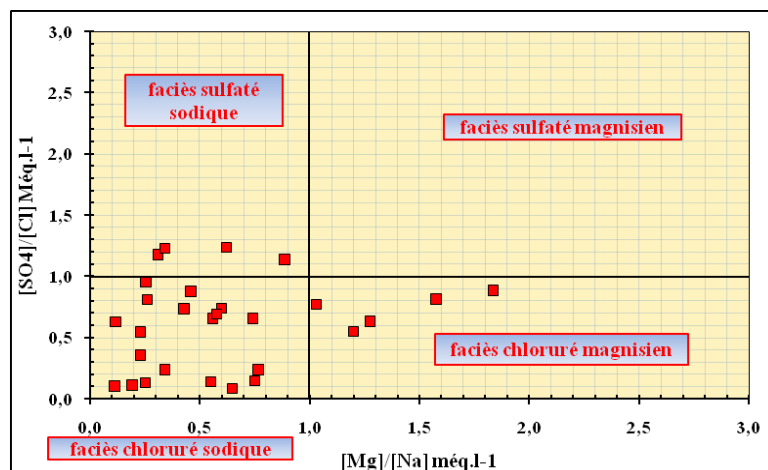


**Fig n°3** Variations du pourcentage du gypse en fonction de la profondeur

Le graphique ci-dessus montre que la valeur maximale (13,41%) de teneur en gypse enregistrée dans le sondage n°4 à l'horizon le plus haut. Cette valeur diminue en allant vers la profondeur, ce qui signifie une migration ascendante des sels à la surface du sol. Cette migration forme une croûte saline la plus épaisse est de 12 cm à la surface du sol. Par contre dans les sondages n° 1 et n° 6 cette valeur devient maximale dans les horizons profonds où nous avons rencontrés, en profondeur lors du sondage, une croûte argilo-gypseuse dure contenant des cristaux de gypse.

### 5.4. Faciès géochimique de l'eau phréatique

La projection des différents points sur le diagramme ( $Mg^{2+}/Na^+ : SO_4^{2-}/Cl^-$ ), nous donne une vue d'ensemble sur la répartition spatiale des faciès géochimiques au niveau de la nappe phréatique et au niveau du sol de la sebkha de Ouargla.

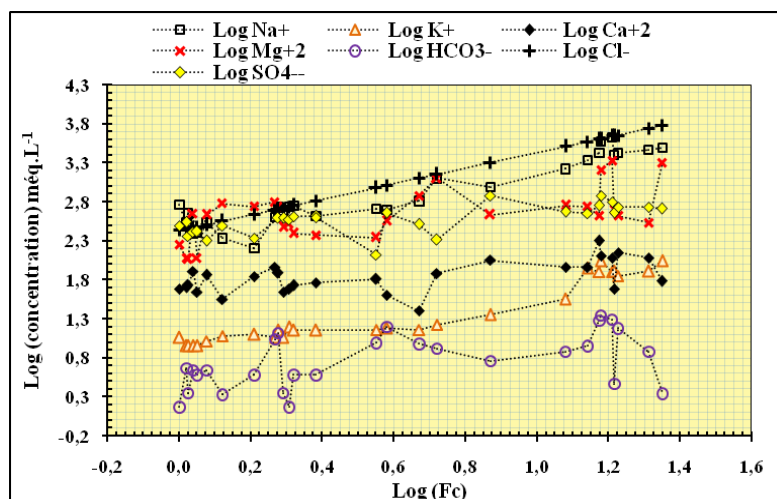


**Fig n°5** Faciès géochimiques de l'eau phréatique par les rapports  $Mg^{2+}/Na^+ - SO_4^{2-}/Cl^-$

La figure montre que le faciès le plus dominant dans l'eau phréatique est chloruré sodique (67,85% des échantillons) et d'un degré moindre le faciès chloruré magnésien (17,87% des échantillons) puis le faciès sulfaté sodique (14,28% des échantillons), avec l'absence d'un faciès sulfaté magnésien. La présence des eaux chlorurées magnésiennes, et sulfatées sodiques, en l'absence du faciès sulfaté calcique, peut être à l'origine d'un échange de base ; qui peut se produire entre le  $Na^+$ , et le  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ , ou un déséquilibre chloro-alcalin.

### 5.5. Diagramme de concentration

Dans les diagrammes de concentration ci-dessous, le logarithme des concentrations ( $mEq.l^{-1}$ ) est placé en ordonnée et le logarithme du facteur de concentration en abscisse. Dans ces diagrammes, les teneurs en chlorures paraissent alignées suivant une droite de pente 1. L'ordre des éléments classés par concentration, n'est pas toujours le même, car les éléments ne se concentrent pas proportionnellement au facteur de concentration. Les teneurs de certains éléments augmentent alors que d'autres diminuent.



**Fig n° 8:** Evolution des concentrations des éléments majeurs en fonction du facteur de concentration dans l'eau phréatique

La somme des équivalents de calcium et magnésium est supérieure à l'alcalinité ( $alc-2Ca-2Mg < 0$ ) dans la solution de départ. Les concentrations en calcium et en magnésium augmentent mais à un rythme inférieure à celui du facteur de concentrations et en accord avec l'alcalinité résiduelle Calcite négative ( $alc-2Ca < 0$ ). Le nuage de points exprimant les concentrations sus indiquées s'incurve vers le bas, traduisant ainsi une consommation du calcium et du magnésium, alors que la teneur en sulfate demeure élevée, et en accord avec l'alcalinité résiduelle Calcite plus Gypse positive ( $alc -2Ca +2SO_4 > 0$ ), et

alcalinité résiduelle Gypse positive ( $2SO_4-2Ca-2Mg>0$ ). Cette évolution est conforme au concept de l'alcalinité résiduelle, généralisée.

## 6. Conclusion

Les sols de sebkha de Ouargla classés dans les catégories salin et salin à alcalin, ces sols sont caractérisés par un faciès chimique dominant chloruré sodique, et avec un degré moindre le faciès sulfaté sodique. Les conductivités des sols indiquent une minéralisation excessive. Le profil de sondages indique une accumulation des sels au Sud de la Sebkha vers le Nord. Les variations verticales notables des conductivités dans les sols de la sebkha à cause de l'hétérogénéité lithologique, et son contact par la nappe superficielle engendre échange des minéraux entre l'eau phréatique et le sol en faveur des éléments sursaturés dans l'eau. Ces derniers vont se précipiter dans le sol ce qui explique l'évolution des teneurs.

Au-dessous du sol de la Sebkha étudiée une nappe phréatique révèle une minéralisation très excessive. Le faciès chimique le plus dominant dans l'eau phréatique est chloruré sodique et d'un degré moindre le faciès chloruré magnésien puis le faciès sulfaté sodique, avec l'absence d'un faciès sulfaté magnésien. La présence des eaux chlorurées magnésiennes, et sulfatées sodiques, en l'absence du faciès sulfaté calcique, peut être à l'origine d'un échange de base ; qui peut se produire entre le  $Na^+$ , et le  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ , ou un déséquilibre chloro-alcalin.

L'évolution géochimique de la salinité de l'eau phréatique décrite par l'indice de saturation des minéraux par rapport au facteur de concentration, montre la forte sensibilité des minéraux carbonatés à la précipitation, et à un degré moindre les minéraux évaporitiques. Les concentrations en calcium et en magnésium augmentent, mais à un rythme inférieure à celui du facteur de concentrations (Fc), et en accord avec l'alcalinité résiduelle Calcite négative ( $alc -2Ca < 0$ ).

## Références

- [1]Droubi. A, 1976. **Géochimie des sels des solutions concentrées par évaporation. Modèles thermodynamique de simulation, application aux sols salés du Tchad.** Mémoire Docteur-Ingénieur (Sciences géologiques, 46), ULP, Strasbourg, 177 p.
- [2]Duchaufour P, 1977– **Pédologie. Pédogenèse et classification. Tome 1**, Ed. Masson, Paris, 477p.
- [3]Nezli, 2009. **Approche hydrogéochimique à l'étude des aquifères de la basse vallée de l'oued M'ya (Ouargla)** Thèse Doctorat Biskra, p51-p56
- [4]Servant J.M (1975) – **Contribution à l'étude pédologique de terrains halomorphes. L'exemple des sols salés du Sud et du Sud-Ouest de la France.** Thèse d'état. Université de Montpellier.2 tome. Texte : p110-113.
- [5]Daoud Y. 1993- **Contribution à l'étude des sols des plaines du Cheliff. Le phénomène de salinisation, conséquences sur les propriétés physiques des sols argileux**, Thèses Doct d'Eta. INA Alger, 233p.