

COMPARTIMENTATION ET ACCUMULATION ESTIVALE DES SELS NEUTRES DANS LES ARIDISOLS SABLEUX NUS DE LA CUVETTE D'OUARGLA (SAHARA ALGÉRIEN)

Abdelhak Idder, Tahar Idder, Imed-Eddine Nezi¹, Belhadj Hamdi-Aïssa², Hamid Cheloufi, Mireille Dosso³ et Olivier Philippon³

Université Ouargla, faculté des sciences de la nature et de la vie, laboratoire de recherche sur la phoeniculture, Ouargla, 30 000, Algérie

¹Université ouargla, faculté des hydrocarbures, des énergies renouvelables, des sciences de la terre et de l'univers, laboratoire de géologie du Sahara, Ouargla 30000, Algérie

²Laboratoire de biogéochimie des milieux désertiques, université Kasdi Merbah, B.P. 30000, Ouargla, Algérie

³IRC - Montpellier SupAgro, Montpellier, France
idder_haki@yahoo.fr

(Received 17 July 2012 - Accepted 5 November 2012)

RÉSUMÉ

Cette étude a porté sur l'accumulation et la compartimentation des sels dans les sols de l'oasis d'Ouargla, située, au Sahara, dans le sud-est algérien. Les sols, objet de ce travail, sont des sols sableux, nus, qui n'ont jamais subi d'action anthropique soit par mise en culture soit par irrigation. Deux facteurs principaux influent sur le fonctionnement de ces sols : la présence d'une nappe, située à faible profondeur (1 mètre environ), excessivement salée (classe C5-S3) et le climat estival, qui, de juillet à août induit un fort pouvoir évaporant. Ces sols ne bénéficient d'aucune possibilité de drainage. L'étude d'une séquence radiale du sol montre que l'accumulation et la stagnation des sels sont en proportions variables selon la profondeur des horizons et la séquence altitudinale de ce sol. Cette accumulation évolue de 31.5 dS/m en amont à 62.5 dS/m à l'aval. Parmi les anions, ce sont le chlore et le sulfate qui dominent et parmi les cations, le sodium domine largement. Quant aux sels présents, ce sont les sulfates et chlorures de sodium (sels neutres) qui représentent environ 90 % des sels exprimés. En conséquence, le carbonate double de calcium, le gypse et le chlorure de magnésium sont présents, mais en faibles quantités. Les sels neutres se concentrent surtout en surface et dans la zone médiane des profils du sol, leur conférant ainsi le caractère salin de type A et B. Les valeurs élevées de la conductivité électrique de la solution du sol pouvant atteindre 62.5ds/m, ainsi que la neutralité des pH, sont la conséquence de la forte présence de sels neutres.

Mots-clés: sels, sol nu, aridité, nappe superficielle, oasis de Ouargla

ABSTRACT

This study focused on the accumulation and compartmentalization of salts in the sandy bare soils of the Ouargla oasis, located at the Sahara South-Eastern Algeria. Such soils have never suffered anthropogenic action either by culture or by irrigation. Two main factors influence the functioning of these soils: the presence of a shallow aquifer (about 1 meter deep), excessive salt (C5-S3 class) and the hot summer weather from July to August, which induces a high evaporating rate. The main feature of these soils is the absence of a drainage possibility. The study of radial sequence of ground showed that accumulation and stagnation of salts were in varying proportions depending on the depth of horizons and the sequence of altitudinal soil. The electrical conductivity increased upstream 31.5dS/m to 62.5dS/m downstream. The predominant anions were chloride and sulphate; among the cations, sodium widely dominated. The neutral salts, sodium sulphate and sodium chloride represented 90% of expressed salts. As a consequence, the double calcium carbonate, gypsum and magnesium chloride were present, but in small quantities. These neutral salts were mainly concentrated on the surface and in the middle zone of soil profiles, giving them the character of A and B salts. The high values of the electrical conductivity of the soil solution up to 62.5dS/m, as well as the neutrality of the pH, were the consequence of the strong presence of neutral salts.

Keywords: salts, bare ground, dryness, shallow aquifer, oasis of Ouargla

INTRODUCTION

La ville de Ouargla est située à environ 800 km au Sud-est d'Alger au fond d'une vaste dépression sans exutoire (Figure 1). La nappe phréatique salée est souvent à fleur de sol. Cette ville est entourée de grandes surfaces de chotts et de sebkhas.

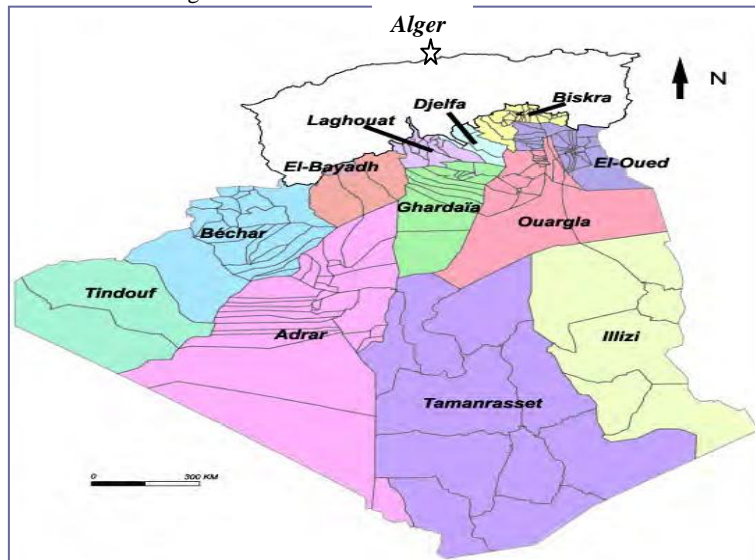


Figure 1. Localisation géographique de la zone d'étude (Kouzmine, 2003).

Les ressources hydriques dont dispose Ouargla appartiennent à trois aquifères : le Continental Intercalaire et le Complexe Terminal, deux aquifères fossiles, et la nappe phréatique datant du quaternaire. Cette dernière, très salée, n'est pas exploitée (Nezli *et al.*, 2007; Castany, 1982; Nesson, 1978).

Ouargla est située dans une zone appartenant à l'étage bioclimatique saharien à hiver doux. Son climat est caractérisé par une aridité nettement exprimée par un Indice d'aridité de Martonne (I_m) = 1.2 et une sécheresse quasi permanente (de Martonne, 1926).

Le paysage pédologique de l'oasis d'Ouargla est caractérisé essentiellement par son halomorphie et son hydromorphie (Idder, 1998).

Les grandes étendues nues répandues sur la plus grande partie du territoire algérien, particulièrement au Sahara, méritent d'être caractérisées du point de vue sols et salinisation. De mémoire d'homme, le sol nu, objet de cette étude, n'a jamais connu d'actions anthropiques soit par mise en culture soit par irrigation ; l'humidité de ce milieu est sous la dépendance d'une nappe phréatique peu profonde, alimentée essentiellement par les excédents hydriques urbains et agricoles, et de la très faible pluviométrie caractéristique de la région, ne dépassant pas 40 mm/an, alors que l'évaporation annuelle est de l'ordre de 2000 mm/an (Idder, 2007).

En période chaude, soit durant six mois, du mois de mai au mois d'octobre, le climat présente un fort pouvoir évaporant et la nappe phréatique est proche de la surface du sol, généralement à moins de 1 mètre (Hamdi-Aissa, 2001).

Il s'agit, dans un premier temps, de caractériser la qualité physico-chimique de l'eau de la nappe phréatique, on recensera ensuite les sels à partir des concentrations ioniques mesurées dans le sol. On s'intéressera en particulier aux sels de la série neutre qui présentent un fort potentiel de toxicité pour le matériau pédologique (Hacini, 2008).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le travail a été mené dans l'exploitation agricole de l'Université d'Ouargla sur un sol non cultivé (Figure 2) dont les caractéristiques sont indiquées dans le Tableau 1. Trois profils ont été creusés suivant le sens d'écoulement des eaux souterraines. Ces profils, espacés de 100 m, possèdent une profondeur maximale de 1 m, dont la limite coïncide avec le niveau de la nappe phréatique et sont caractérisés par des horizons (H) distincts choisis en fonction de la salure du sol (Halitim, 1988; Ruellan & Dosso, 1993). L'horizon superficiel H0, ou pseudo-horizon, correspondant aux premiers centimètres du sol.

Pour la détermination de la qualité chimique des eaux de la nappe phréatique, on a installé à proximité de chaque profil un piézomètre à partir duquel on a prélevé les échantillons d'eau à analyser.

Pour la détermination des sels qui se forment dans les profils pédologiques, la méthode chimique de Bazilevich et Pankova (1968), confirmée par Droubi *et al.* (1976) et Idder (2006), basée sur la combinaison des concentrations anioniques et cationiques, à 25°C, dans la solution du sol et sur l'ordre de solubilité des sels, a été utilisée pour la détermination

qualitative et quantitative des différents sels présents dans les profils étudiés. Les concentrations ioniques ont été déterminées par spectrophotométrie (spectrophotomètre DR2000), la conductivité électrique et le pH ont été mesurés par conductimétrie et pH-métrie (extrait aqueux terre/eau : 1/5 (1 g de terre pour 5 ml d'eau distillée), à 25°C).

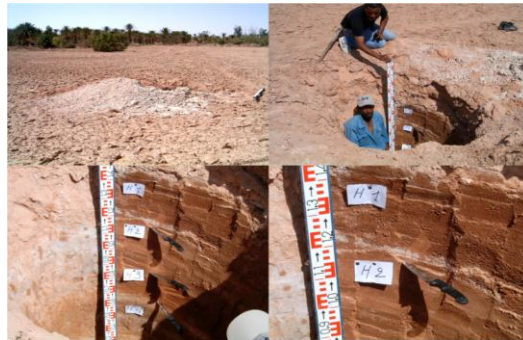
Les conditions dans lesquelles les expériences ont été réalisées sont indiquées ci-dessous :

- Historique : sol jamais exploité,
- Période de prélèvement et de description des échantillons du sol : juillet 2009,
- Topographie : forme plane avec une pente faible (< 1%),
- Temps : ensoleillé,
- Aspect de la surface du sol : encroûtement salin (boursouffures),
- Occupation du sol : sol nu sur 100 % de sa superficie,
- Drainage : inexistant.

TABLEAU 1

Caractéristiques du Sol Étudié

Caractéristiques	Observations
Morphologiques	Encroûtement en surface Cristaux de sels visibles Matière organique non décelable
Physiques	Texture sableuse Taux de calcaire total faible Taux de gypse important Densité apparente faible
Physico-chimiques	pH : Voie saline neutre Capacité d'échange cationique : faible à très faible Conductivité électrique : excessivement élevée
Biologiques	Représentation insignifiante



**Figure 2. Vue générale du site d'étude.
RÉSULTATS ET DISCUSSION**

Concentration de l'eau de la nappe phréatique

Les analyses physico-chimiques des eaux de la nappe phréatique (Tableau 2) montrent une évolution de la salinité allant du profil 1 (piézomètre 1) vers le profil 3 (piézomètre 3) selon le sens d'écoulement des eaux de cette nappe phréatique, orientée Sud-nord (Nezli, 2009). Ces eaux, compte tenu de leur degré de salinité, représenté par la conductivité électrique (symbolisée par C), et de sodicité (symbolisée par S), représenté par le SAR (Sodium Absorption Ratio), sont classées, d'après Durand (1958), dans la catégorie des eaux excessivement salées : C5-S3.

TABLEAU 2

Caractéristiques des Eaux de la Nappe Phréatique

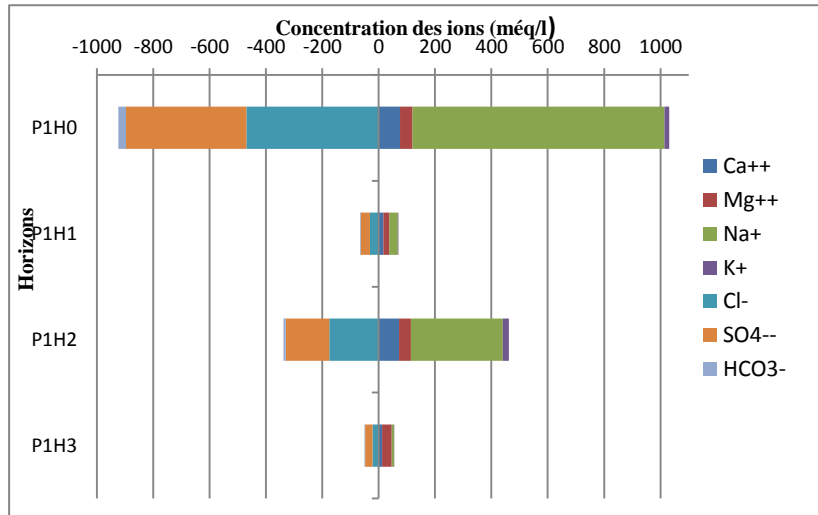
Piézomètres	SAR	C.E. dS/m	Classes
P _{Z1}	18,66	14,84	C5-S3
P _{Z2}	24,09	24,18	C5-S3
P _{Z3}	25,97	25,31	C5-S3

Niveaux d'accumulation des ions dans les profils

Les Figures 3, 4 et 5 mettent en évidence un mouvement ascendant des ions du bas des profils vers deux niveaux d'accumulation principaux : l'horizon superficiel (H0) et l'horizon médian (H2). Cette distribution ascendante montre une certaine uniformité : les ions chlorure, sulfate et sodium sont toujours présents avec des proportions plus importantes que celles des autres ions. L'ordre de dominance des cations et des anions décroît dans l'ordre suivant : $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$ et $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$.

L'évaluation chiffrée en pourcentage par rapport aux concentrations des ions qui sont à l'origine de la formation des sels neutres qui sont Na^+ , parmi les cations, et Cl^- et SO_4^{2-} , parmi les anions, a mis en évidence une accumulation majoritaire chloruro-sulfato-sodique concentrée essentiellement au niveau des horizons H0 et H2. Pour l'ensemble des trois profils étudiés, on a constaté que le Sodium, le Chlore et le Sulfate représentent respectivement des pourcentages de 95,6%, 90,5% et 90% dans les horizons superficiel et médian cumulés, contre 4,4%, 9,6% et 10% dans les autres horizons. Cette accumulation des ions dans les couches superficielle (accumulation type A) et médiane (accumulation type B), selon la classification de Servant (1975), justifie les grandes valeurs des conductivités électriques observées dans ces deux horizons du sol par rapport aux horizons sous-jacents à H0 et H2. Pour le profil 1, par exemple, la conductivité électrique atteint 62,51 dS/m et 21,74 dS/m, respectivement dans les horizons H0 et H2 contre seulement 5,92 dS/m et 4,52 dS/m

respectivement dans les horizons H1 et H3. On note que l'horizon H2 du profil 3 (Figure 4) présente des accumulations ioniques plus importantes que celles observées dans les horizons H2 des profils 1 et 2 (Figures 3 et 4). Cette accumulation médiane dans le profil 3 est



expliquée par la présence d'une croûte gypseuse qui empêche la migration des ions vers les horizons superficiels.

Figure 3. Répartition ionique dans les horizons H0, H1, H2 et H3 du profil 1.

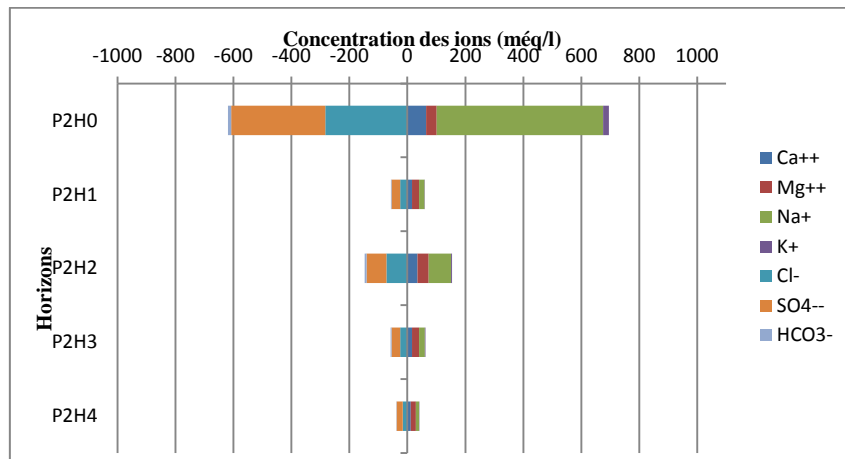
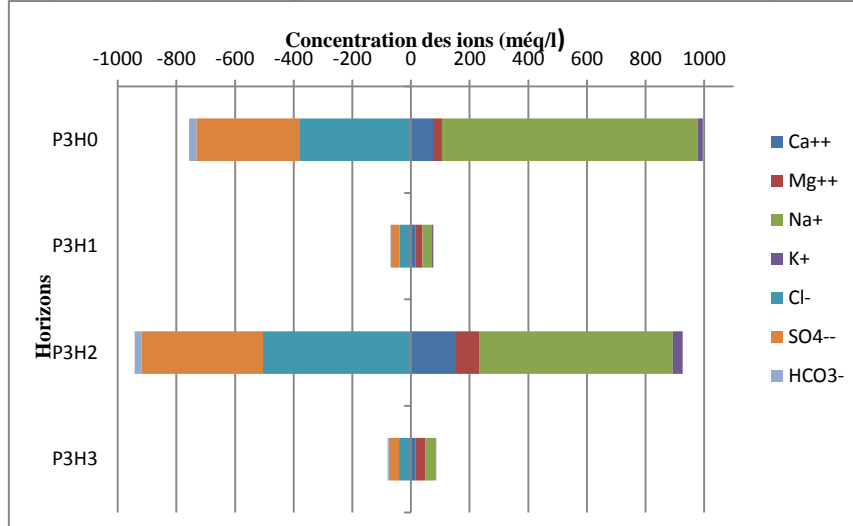


Figure 4. Répartition ionique dans les horizons H0, H1, H2, H3 et H4 du profil 2.**Figure 5. Répartition ionique dans les horizons H0, H1, H2 et H3 du profil 3.**

Identification et compartimentation des sels dans les profils

L'étude relative à la formation des sels montre une relation étroite entre la nature des sels formés et la composition ionique des eaux de la nappe phréatique. Ces sels formés, grâce aux affinités chimiques en référence à la méthode de Bazilevich et Pankova (1968), à partir des cations et des anions, se concentrent essentiellement, comme pour les ions, dans le niveau superficiel, à cause des fortes évaporations estivales, et dans le niveau médian, sous l'influence de la nudité et de la nature sableuse du sol (Berkal *et al.*, 2012).

La présence dominante des ions Na^+ , Cl^- et SO_4^{2-} dans les deux niveaux d'accumulation prioritaires (H0 et H2) est à l'origine d'une occupation majoritaire des sels neutres formés dans ces mêmes horizons, à savoir NaCl (halite) et Na_2SO_4 (thénardite). Ce résultat est confirmé par les valeurs neutres du pH. Dans le profil 1 (Figure 6), la proportion de ces sels dans les horizons H0+H2 atteint respectivement 92% et 68% par rapport à la totalité des sels, tandis que les proportions de CaSO_4 (gypse), de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ (carbonate double de calcium) et de MgCl_2 (chlorure de magnésium) ne présentent que 24%, 5% et 0%.

Cette tendance de dominance des sels neutres dans les horizons superficiel et médian est également retrouvée, à des proportions variables dans les autres profils 2 et 3 (Figures 7 et 8).

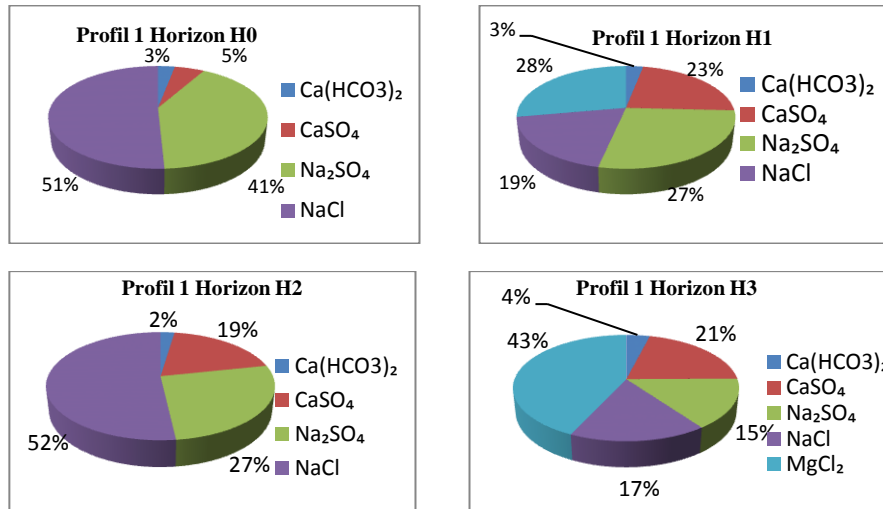


Figure 6. Répartition des sels dans le profil 1 en fonction des horizons.

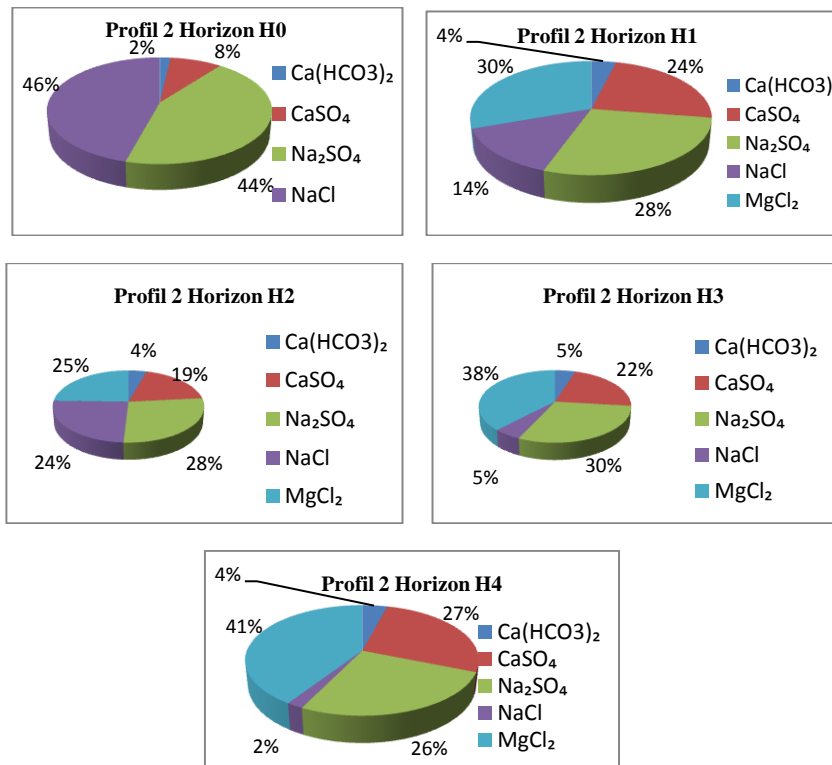


Figure 7. Répartition des sels dans le profil 2 en fonction des horizons.

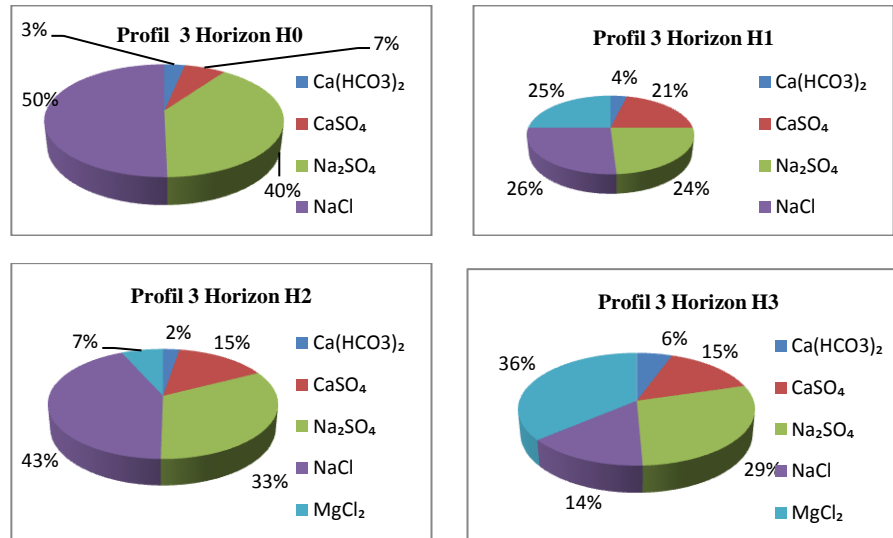


Figure 8. Répartition des sels dans le profil 3 en fonction des horizons.

CONCLUSION

Dans ce travail on s'est intéressé à l'ensemble constitué par le système sol-nappe, caractérisé par un climat aride estival très évaporant, une nappe phréatique proche de la surface du sol et une topographie plane d'où, défavorable au drainage naturel des eaux.

Le sol nu sableux, objet de cette étude, évolue vers la voie saline neutre. Il est soumis au processus ascendant des sels provenant de la nappe phréatique sous l'influence de fortes évaporations, matérialisant ainsi une accumulation saline superficielle et médiane. On peut déduire que le profil salin de ce sol est de type A et B.

Les principaux résultats des analyses chimiques du sol nu indiquent un fort taux de salure, le plus important est atteint au niveau des horizons de surface et médian 62,51 dS/m.

La composante ionique sur les profils considérés est visiblement déséquilibrée au profit des ions chlorures, sulfate et sodium. Il en résulte par conséquent une présence massive de sels formés à partir des ions susmentionnés, essentiellement le NaCl et le Na₂SO₄ très nocifs pour le sol à cause de leur extrême solubilité.

RÉFÉRENCES

- Bazilevich, N.I. and Pankova, E.I. 1968. A tentative of classifying soils according to salinization. *Pachvavedena*, 11: 3-16.
- Berkal, I., Walter, C., Michot, D. and Djili, K. 2012. *Seasonal soil salinity monitoring in oasis ecosystems by EM conductivity*. Digital soil assessments and beyond: proceedings of the 5th global workshop on digital soil mapping Sydney, Australia, CRC Press Taylor & Francis group, p. 347-351.

- Castany, G. 1982. Bassin sédimentaire du Sahara septentrional (Algérie Tunisie). Aquifères du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal. *Bulletin du BRGM* (2), III(2) : 127-147.
- De Martonne, E. 1926. Aérisme et indice d'aridité. *C. R. Acad. Sci.*, Paris, (182): 1395-1398.
- Droubi, A., Fritz, B., Tardy, Y. 1976. Equilibres entre minéraux et solutions. Programmes de calculs appliqués à la prédiction de la salure des sols et des doses optimales d'irrigation. *Cahiers O.R.S.T.O.M., Série Pédologie*, XIV(1): 13-38.
- Durand, J.H. 1958. *Les sols d'Algérie*. Ed. S.E.S. Alger, 244 p.
- Hacini, M. 2008. *Géochimie des sels et des saumures du chott Mérouane et calculs des vitesses de précipitation de quelques minéraux*. Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 272 p.
- Halitim, A. 1988. *Sols des régions arides d'Algérie*. Éd. OPU, Alger, 384 p.
- Hamdi-Aissa, B. 2001. *Le fonctionnement actuel et passé de sols du Nord Sahara (cuvette d'Ouargla)*. Thèse de Doctorat, INA, Grignon, 194 p.
- Idder, A. 2006. *Mode de fixation et de cristallisation des sels dans un sol nu non irrigué dans la région d'Ouargla*. Thèse de magister, INA, El-Harrach Alger, 112 p.
- Idder, T. 2007. Le problème des excédents hydriques à Ouargla : situation actuelle et perspectives d'amélioration. *Sécheresse*, 18(3): 161-167.
- Idder, T. 1998. *La dégradation de l'environnement urbain liée aux excédents hydriques au Sahara algérien. Impacts des rejets d'origine agricole et urbaine et techniques de remédiation. L'exemple d'Ouargla*. Thèse de Doctorat, Université d'Angers, France, 284 p.
- Kouzmine, Y. 2003. *L'espace saharien algérien, dynamique démographique et migratoire*. Maîtrise de Géographie, Université de Franche-Comté, U.F.R Sciences du Langage, de l'Homme et de la Société, Institut de Géographie, Laboratoire THEMA, 208p.
- Nesson, C. 1978. Évolution des ressources hydrauliques dans les oasis du Bas Sahara algérien. In : *Recherches sur l'Algérie. Mémoires et documents du CNRS, nouvelle série*, 17 : 7-91.
- Nezli, I.E., Achour, S., Djabri, L. 2007. Approche géochimique des processus d'acquisition de la salinité des eaux de la nappe phréatique de la basse vallée de l'oued M'ya (Ouargla). *Larhyss Journal*, (6): 121-134.
- Nezli, I.E. 2009. *Approche hydrogéochimique à l'étude des aquifères de la basse vallée de l'Oued M'ya (Ouargla)*. Thèse de doctorat en sciences hydrauliques, Université de Biskra, Algérie, 117p.
- Ruellan, A., Dosso, M. 1993. *Regards sur le sol*. Éd. Foucher, Paris, 192 p.
- Servant, J. 1975. *Contribution à l'étude des sols halomorphes. L'exemple des sols salés du Sud et du Sud-ouest de la France*. Thèse de doctorat d'état, Université de Montpellier, 2 tomes (texte : 200 p.).