



Origine de la salinisation des sols de la plaine de M'léta (bordure sud du bassin sebkha Oran)

BOUALLA Nabila⁽¹⁾, BENZIANE Ahmed⁽¹⁾, et DERRICH Zoubir⁽²⁾

⁽¹⁾Laboratoire de Matériaux, Sol et Thermique, section Géologie Appliquée. Faculté d'Architecture et de Génie Civil.

⁽²⁾Laboratoire physico-chimique des matériaux/catalyse/environnement. Faculté des Sciences. Université des Sciences et de la Technologie d'Oran U.S.T.O.M.B. Tel/Fax : (041) 46.09.34. BP 1505.EI Mnaouer. Oran. Algérie. BP 1505. EI Mnaouer. Oran. Algérie.

E-mail de l'auteur correspondant : nibrasnabila@yahoo.fr

Original submitted in 5th March 2012. Published online at www.m.elewa.org on May 29th 2012.

RESUME

Dans la majorité des situations, le développement de l'irrigation s'accompagne par l'apparition de processus de salinisation, de sodisation ou d'alcalinisation des sols à des degrés divers. Ces situations sont en relation étroite avec les caractéristiques naturelles du milieu (sol et climat) et la modalité de gestion des eaux destinées à l'irrigation dont la qualité est déterminante.

Objectif : L'objectif de ce travail est de suivre l'évolution géochimique de la salinité des sols et d'évaluer les risques éventuels de la dégradation des sols de la plaine de M'léta dans le bassin versant sebkha Oran (Nord-Ouest Algérie).

Méthodologie et résultats : La présence de sels à la surface des sols est utilisée comme marqueurs de caractéristiques hydro pédologiques. Ces sels solubles, précipitent à la surface des sols à partir de nappes peu profondes pendant la longue saison sèche. Ils sont représentés par des chlorures dominants et des sulfates. Les résultats obtenus montrent (teneur maximale : 0,22% en chlorure et 348 mg/l en sulfate) que les sols issues de l'altération des roches appartiennent à la voie saline, ce qui conduit à la sodification des sols dans cette région.

Conclusion et application : Ces résultats militent pour la mise au point de nouveaux canaux dont l'objectif serait d'augmenter la qualité de perception des états de surface de façon générale et de la salinité de façon particulière. Cette amélioration pourra se faire par l'utilisation de plates-formes satellitaires qui possèdent des résolutions spectrales et spatiales plus fines.

Mots-clés : Sol ; Salinité ; Gypse ; Sulfate ; Chlorure ; Qualité.

Abstract

In most situations, the irrigation development is accompanied by the appearance of the process of salinization, alkalinization sodification of soil to varying degrees. These situations are closely related to the natural environment (soil and climate) and the modality of water management for irrigation whose quality is crucial.

Objective: The objective of this work is to follow the geochemical evolution of soil salinity and to assess the potential risks on land degradation in the plain of the watershed M'léta sabkha Oran (Algeria Northwest).

Methods and Results: The presence of salts on the soil surface is used as markers of soil hydro characteristics. These soluble salts, precipitate at the soil surface from shallow aquifers during the long dry season. They are represented by dominant chlorides and sulfates. The results show (maximum: 0.22% chloride and 348 mg / l sulfate) than soils from the weathering of rocks which leads to the sodification of the soil in this region.

Conclusion and Application: These results argue for the development of new channels whose objective is to increase the quality of perception of soil surface states in general and soil salinity in a special way. This improvement may be achieved through the use of satellite platforms that possess finer spectral and spatial resolutions.

Keywords: Soil; Salinity; Gypsum; Sulphates; chlorides; Quality.

INTRODUCTION

Le sol est actuellement considéré comme une interface dans l'environnement et une ressource pour le développement (Robert, 1996). Naturellement, le sol est une ressource lentement renouvelable. Or, du fait des activités humaines et des mauvaises relations actuelles entre les sols et les sociétés humaines, les sols sont soumis à différentes formes de dégradation, le plus souvent irréversibles. (BADRAOUI, 2006).

La dégradation de la qualité des sols et des eaux suite à l'irrigation constitue un danger sérieux pour la durabilité de ce système d'exploitation des terres. Il est bien connu que la mise en valeur agricole sous irrigation dans les zones semi-arides et arides conduit le plus souvent à la dégradation de la qualité des sols (Mathieu et Ruellan, 1980; Larson et Pierce, 1991; Robert, 1992; 1996; Umali, 1993; Badraoui et Merzouk, 1994; Farhat, 1995; Badraoui et al., 1998a; 1998b). Dans les sols, le sodium peut s'adsorber sous forme ionique à la surface des argiles et s'accumuler à la faveur de l'évaporation, sous forme de solution concentrée et/ou de cristaux de sels. La salinisation est le processus qui accroît la quantité de sels dans les sols : lorsque celle-ci est trop élevée, la plante subit un stress qui ressemble à celui provoqué par une sécheresse. L'alcalinisation se produit lorsque le pH du sol augmente à des valeurs supérieures à 8.2. Elle est souvent accompagnée du processus de sodisation : lorsque le sodium est l'élément majoritaire adsorbé sur les argiles, il produit un cortège d'effets physiques et chimiques préjudiciables pour le sol et la plante. La dégradation des sols par salinisation ou alcalinisation apparaît comme toile de fond à tous les aménagements hydro-agricoles en zone aride ou semi-aride. Dans ces régions, les eaux soumises ont une forte évaporation ont tendance à se concentrer et les sols à se saler. (IRD 2008) Une salinisation trop importante, accompagnée

parfois d'une alcalinisation du complexe absorbant des sols. Ce sont là les types de dégradation les plus fréquentes, et souvent liées à la désertification. Plus l'aridité est forte, plus l'irrigation est incontournable à la culture et plus son usage est risqué.

Les sources de sel sont variables :

- Le matériau géologique, par le biais de l'altération, peut libérer les éléments nécessaires à la formation des sels solubles (altération de minéraux primaires riches en sodium, de roches volcaniques, des produits de l'hydrothermalisme riches en soufre et en chlore, ou encore dissolution des évaporâtes, qui sont des accumulations salines anciennes). (IRD 2008)
- L'eau de mer est, bien entendu, une source principale de sel en milieu côtier. La salinisation peut alors être un phénomène permanent lié aux marées (salinisation marine), ou encore due à la présence de lentilles d'eau sur-salées lorsque les zones basses sont isolées de la mer par un colmatage alluvial.
- Une nappe phréatique, d'origine continentale et salée par héritage géologique, peut contaminer le sol par ascension capillaire. (IRD 2008)
- L'eau d'irrigation, on parle alors de salinisation anthropique. Elle peut être très rapide et se manifester à l'échelle de l'année, de la dizaine d'année ou de quelques siècles. Ce type de salinisation est la conséquence de pratiques agricoles dû à la mauvaise combinaison d'une forte évaporation et d'un apport inadapté d'eau d'irrigation en relation avec son contenu en sels dissous. La remontée de la nappe

phréatique peut atteindre plusieurs dizaines de mètres. (IRD 2008)

Le risque de salinisation dépend de la charge en sel de l'eau d'irrigation, mais, même si les eaux d'irrigation sont de bonne qualité, très peu chargées en sel, il faut garder en mémoire que ces sels peuvent malgré tout s'accumuler au sein de la zone racinaire à chaque irrigation sous l'influence de l'évaporation.

Il n'existe pas de profil morphologique type de sols salés, car le sel vient en général se surimposer à un profil de sol déjà existant.

Enfin, même si les excès s'évacuent en aval, ils constituent des sources potentielles de contamination salines pour les systèmes d'irrigation en contrebas. Car si l'eau d'irrigation contient trop de sel en solution, son usage pour la culture de plantes non-halophyte est impossible. On constate :

- Si les apports sont réduits par rapport à une forte évaporation, toute l'eau d'apport sera évaporée et les sels dissous s'accumulent irrémédiablement en surface du sol. Des techniques de goutte-à-goutte permettent cependant de jouer sur la répartition de la salinité qui se distribue en auréole autour du point d'apport, en préservant la zone proche du système racinaire de la plante. (IRD 2008)
- Si les apports d'eau d'irrigation sont en excès par rapport à l'évaporation et que ces excès ne s'évacuent pas suffisamment, le niveau des eaux souterraines s'approche alors de la

MATERIELS ET METHODES

Cadre de l'étude : La plaine de la M'leta est située au sud de la ville d'Oran .Elle est limitée sur toute sa partie nord par le bassin de la grande sebkha d'Oran, au sud par une succession de hautes collines appartenant aux monts de Tessala, à l'est et à l'ouest respectivement par les villes de Tafraoui, St Maur et

surface. Il menace à son tour, pendant les périodes où l'irrigation est inactive, de contribuer par évaporation à la salinité.

Les problèmes rencontrés sont :

- D'ordre osmotique : l'augmentation de la pression osmotique dans la solution du sol empêche la pénétration de l'eau dans la plante, provoque une plasmolyse des cellules, parfois irréversible et qui peut aboutir à la mort du végétal. (IRD 2008)
- D'ordre de toxicité (chlorure, sodium, bore, etc. s'accumulent dans les feuilles et peuvent provoquer des dommages métaboliques). (IRD 2008)
- D'ordre microbiologique : la salinisation diminue l'activité microbienne du sol, la nitrification et la production de CO₂. Les produits organiques formés changent. On observe une augmentation des composés organiques solubles et une diminution des composés humiques polycondensés. (IRD 2008)

La gestion commune des sols et des eaux est incontournable. La mise en place d'observatoires de la qualité des sols et des eaux dans les zones irriguées apparaît donc nécessaire pour assurer la durabilité du système de production. Cependant, la prédiction de l'aspect géochimique de la salinité des eaux est une démarche originale qui pourrait s'avérer fructueuse pour une meilleure connaissance des conséquences de cette salinité sur les sols et l'environnement dans la région d'étude.

Hammam-Bouhadjar (source blanche). La région appartient au domaine Tellien et se rapporte à la zone externe de la chaîne alpine. Qui est constitué dans l'Oranie occidentale en majeure partie par des terrains allochtones.

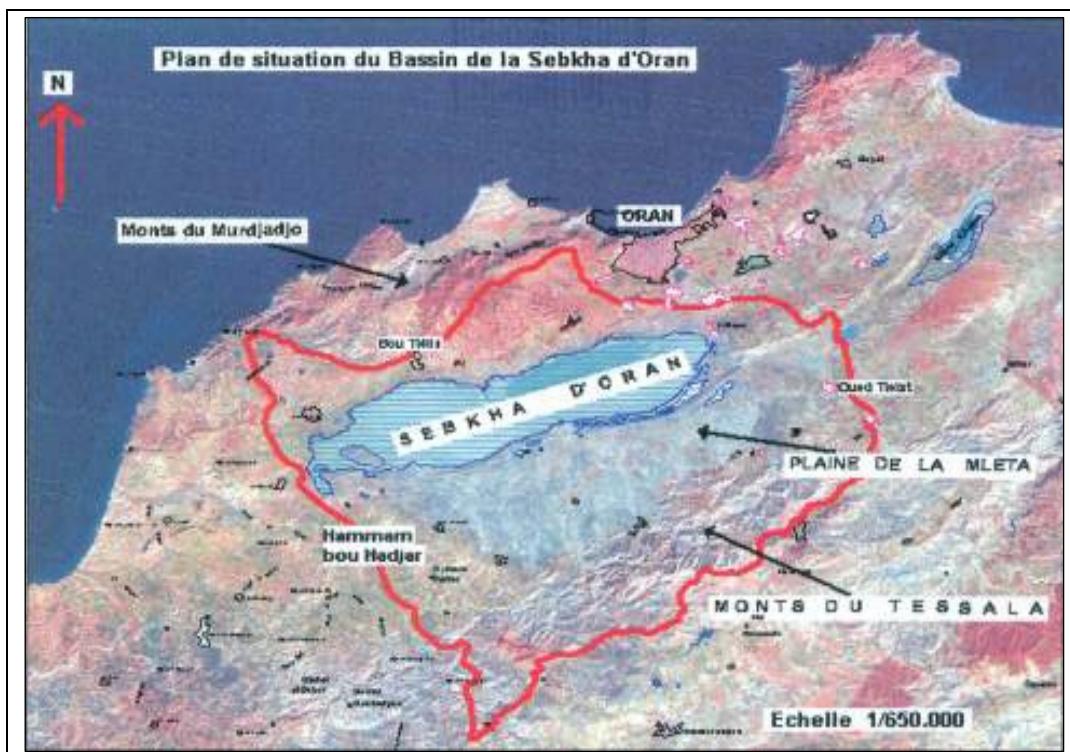


Figure 1 : Plan de situation de la plaine de M'léta (Sogréah, 2004)

La plaine de la M'léta correspond à une vaste dépression formée par des terrains autochtones et constitue ainsi la limite Nord des monts de Tessala constitués par des terrains allochtones (figure 2). Elle

possède des capacités agricoles très peu valorisées. Un Aménagement intégré à partir des ressources locales et des ressources non conventionnelles (eaux usées d'Oran) permettrait le développement de cette zone.

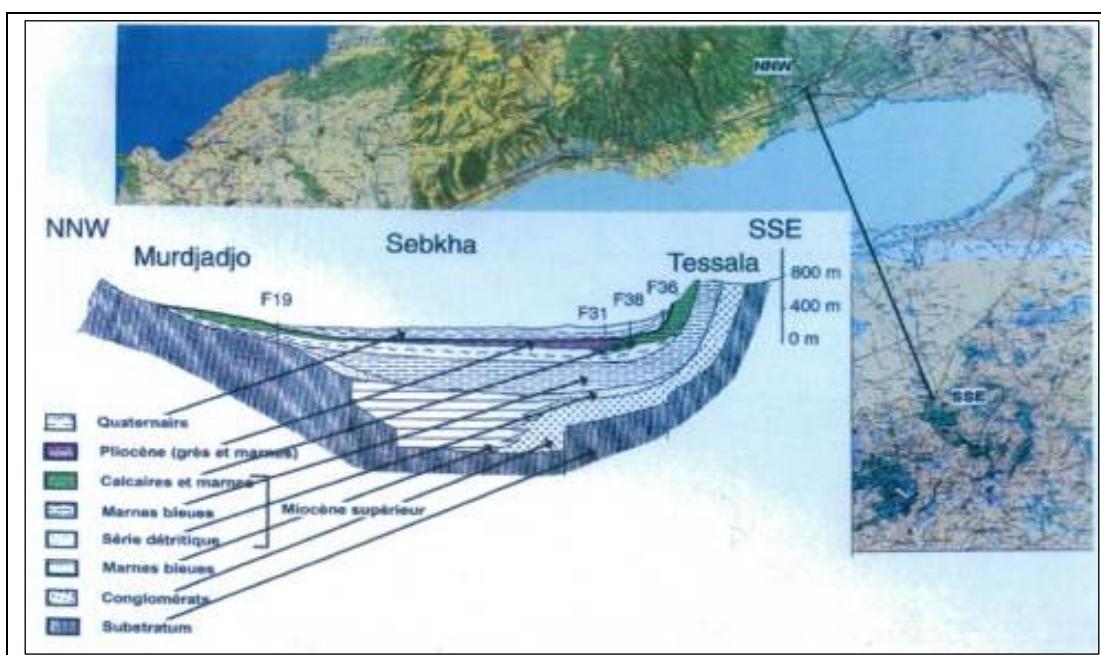


Figure 2 : Coupe géologique interprétative du bassin de la sebkha d'Oran (Hassani, 1987)

Piézométrie

a) Nappes superficielles quaternaire : Plusieurs cartes piézométriques des nappes des alluvions quaternaires ont été établies pour la plaine de la M'léta. Une première carte a été réalisée en 1968, puis une deuxième par M.I. Hassani en 1986. Les études piézométriques montrent que les écoulements des nappes superficielles quaternaires sont dirigés vers le nord en direction de la sebkha. Les écoulements sont rapides à l'amont, ils deviennent de plus en plus lents au fur et à mesure que l'on se rapproche de la sebkha. La recharge des nappes de la M'léta se fait essentiellement à partir des eaux météoriques qui s'infiltrent sur l'ensemble de l'impluvium. Les oueds participent principalement à la recharge. Cette dernière est facilitée par la bonne perméabilité des formations alluvionnaires formées d'éléments grossiers (cônes de

déjection des oueds). Dans la plaine de la M'léta, la transmissivité varie de $0,38 \cdot 10^{-3}$ à $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ pour un coefficient d'emmagasinement de l'ordre de 10-3. Une alimentation latérale à partir des affleurements calcaires semblerait exister ; ceci est particulièrement visible dans la zone de Tafraoui où les isopièzes sont parallèles aux affleurements de calcaires. Les zones d'alimentation amont de la M'léta sont les zones préférentielles de recharge. Entre les « hautes eaux » et les « basses eaux », les battements des puits de la zone atteignent 2 à 4 mètres. Plus à l'aval, en zone de plaine, ces fluctuations ne sont plus que de l'ordre du mètre.

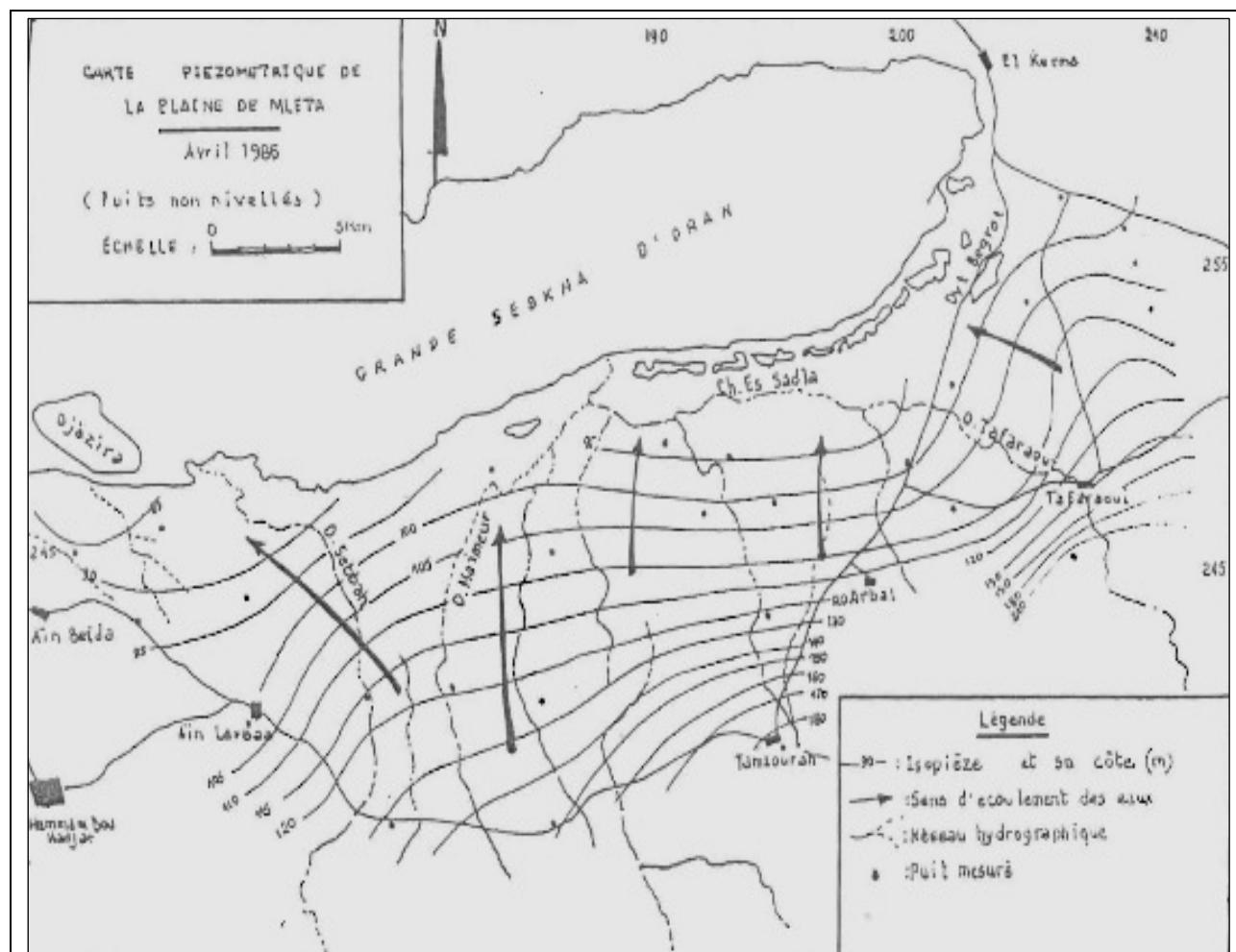


Figure 3 : La piézométrie de la plaine de la M'léta en avril 1986 (Hassani, 1987)

b) Nappes profondes du complexe mio-pliocène : Ce complexe a été reconnu sur toute la bordure est de la

plaine de la M'léta. Il est associé aux calcaires et grès peu consolidés du pliocène marin et aux calcaires du

miocène supérieur de la série du Murjadjo. Ce complexe a été capté par un certain nombre de forages profonds. L'écoulement général de cette nappe profonde est donné sous forme d'une esquisse piézométrique. Selon M.I. Hassani (1987), l'impluvium de cette nappe pourrait s'étendre entre le Mont Choukri

à l'est et Arbal sur une superficie de l'ordre de 25 Km². Les zones de recharge de ces nappes restent à déterminer et devraient faire l'objet d'une étude approfondie compte tenu de l'intérêt que pourraient présenter les nappes profondes du Pliocène.

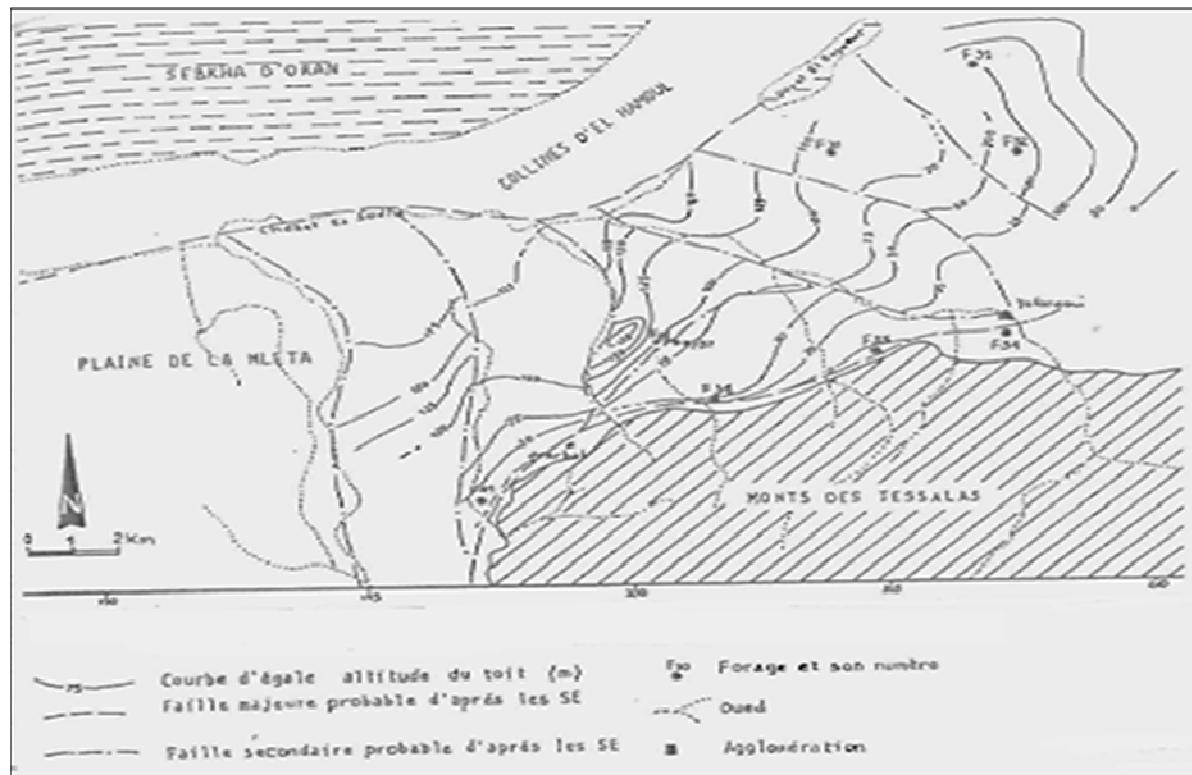


Figure 4 : Carte du toit du complexe aquifère carbonaté de la plaine de la M'léta (EREM, 1984)

Pédologie : Les plaines de Boutlélis, Messerghine et ainsi que la M'léta présentent des aptitudes à une agriculture intensive comme le prouvent des études de 1974 sur les capacités agro-pédologique de la plaine de la M'léta. Les contraintes à une réelle valorisation sont :

- Des ressources en eau dont la connaissance et la gestion quantitative et qualitative restent posées. Une évolution dangereuse de la salinité et de la remontée de sel par absence de drainage.
- L'absence d'ouvrages de protection (écran végétal, talus)
- L'absence d'instruments et d'incitation à une valorisation de ces potentialités.

Hydrologie : Les cours d'eau du sous bassin de la M'léta présentent un écoulement intermittent. Cependant, tous les écoulements (superficiels et souterrains) convergent vers la sebkha d'Oran. Il

peut être caractérisé comme suit :

- Réseau de drainage important dans le massif (671 Km² au-dessus de la cote 200) : crues rapide et puissantes.
- Régime de ruissellement imposé par la faible épaisseur des sols.
- Régime d'infiltration adopté lors du passage en plaine lors de crues débordantes.

Méthodes d'analyse : Les analyses ont été effectuées au laboratoire de matériaux, sols et thermique (LMST) section géologie appliquée. Pour le dosage des anions, on a utilisé :

- les chlorures, la méthode par titrimétrie à nitrate d'argent. (Mathieu et al., 2003)
- les sulfates, la méthode gravimétrique au BaCl₂. (Mathieu et al., 2003)

RESULTATS ET DISCUSSION

En Algérie, il n'existe pas des normes relatives aux sols. Pour l'interprétation des données on se réfère juste à la concentration admise par le type de dosage interfère. La distribution des sulfates est homogène le long des prélèvements. Malheureusement, les points d'échantillonnage étaient bien rapprochée ce qui rend l'interprétation des résultats abusivement escarpe. Indépendamment des profondeurs les contenus en gypses et sulfate sont généralement plus élevés. Cet enrichissement en sulfate peut avoir plusieurs origines, par exemple la dissolution de formation gypseuse (Rollings et al., 1999), puisque les sulfates retrouvées

proviennent de la dissolution du gypse ainsi de l'oxydation des pyrites. Cette zone est caractérisée par un climat semi-aride est caractérisée à la fois par son climat toujours peu pluvieux et parfois très sec, et très irrégulier. Les sols présentent une présence de croute calcaires, gypseuses et d'autre salines. Sous irrigation, la précipitation concomitante de gypse pourrait aussi avoir des conséquences importantes sur les propriétés physiques par une cimentation des particules du sol sous forme d'accumulations calcairo-gypseuses, tout particulièrement dans les zones où la nappe est la plus superficielle et la plus concentrée. (Marlet et al., 2007)

Teneur en gypse et sulfate

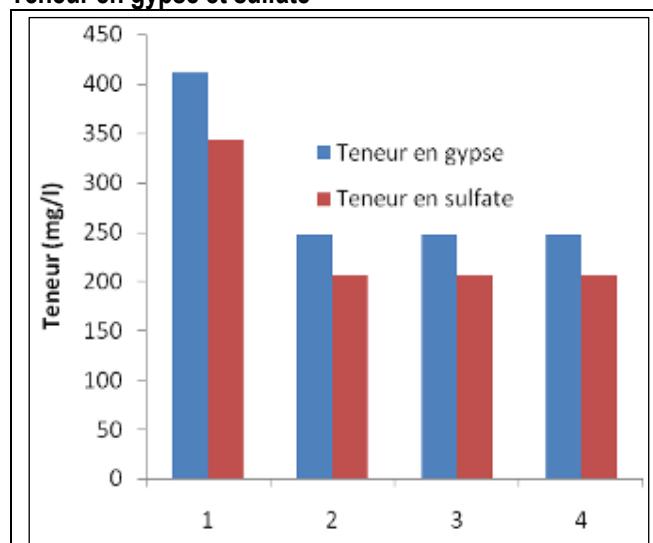
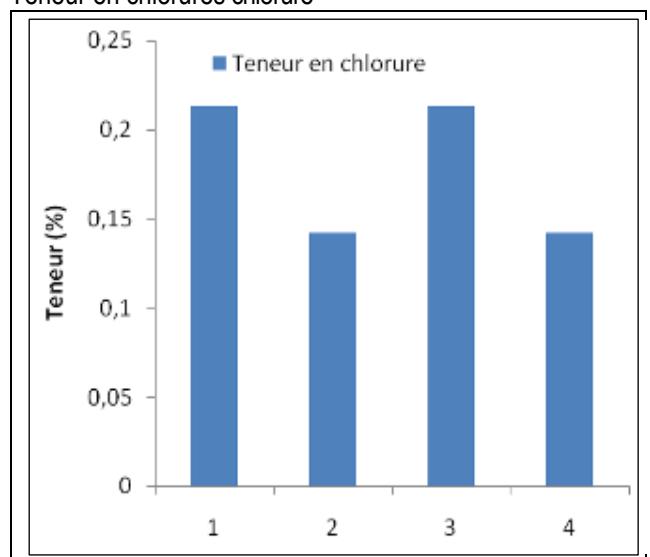


Figure 5 : Teneur en gypse et sulfates

La présence des lentilles de gypse (figure 1) correspondait au type de gisement existant dans la plaine de M'léta, qui est plus fréquente qu'au nord de la sebkha d'Oran. Elle participe à la salinisation des eaux captées. La concentration en sulfate est élevée ceci peut être lié directement à la présence du gypse, qui participe à la minéralisation par lessivage des eaux circulant en profondeur. La formation du gypse a été décrite par plusieurs auteurs (Boyadgiev, 1974 ; Belouam, 1967) qui font état que l'accumulation du gypse se produit en deux voies : par l'évaporation de l'eau minéralisé et par la précipitation dans le même

lieu. Par suite de la fixation des ions SO_4^{2-} par les ions H^+ avec formation d'ions HSO_4^- , la solubilité du gypse augmente un peu en milieu acide. La précipitation est moins complète pour un pH fortement acide que pour un pH neutre ou alcalin. En fait, ce phénomène ne peut guère intervenir car dans tous les sols gypseux étudiés le pH est toujours supérieur à 7. À signaler, que les plaines de Boutlélis, de Messerghine ainsi que la M'léta présentent des aptitudes à une agriculture intensive comme le prouvent des études de 1974 sur les capacités agro-pédologique de la plaine de la M'léta.

Teneur en chlorures chlorure

**Figure 6 :** Teneur en chlorure

Identique pour les aboutissements sus-trouvées pour le gypse et les sulfates, les échantillons analyses sont presque de même nature. Il est donc facile d'expliquer, à partir des résultats l'augmentation du produit de solubilité du gypse avec l'introduction de chlorure. La présence de gypse en grande quantité, dans le sol affecte les qualités physico-chimiques de ce dernier, baisse la fertilité et par conséquence la biomasse et la production végétale. Comparé aux autres formations salines (sels solubles, calcaires), le gypse n'a pourtant pas fait l'objet d'analyses pédologique aussi approfondies (Halitim, 1988). Les phénomènes d'adsorption d'ions Cl^- correspond à de faibles charges de percolation donc pour de faibles de vitesses

d'infiltration. Le taux de la salinité des eaux est très élevé, or, la plaine de M'léta est reconnu par son niveau piézométrique qui est très proche de la surface, d'où le risque de la salinisation des sols. On peut quantifier la perte de la productivité agricole en tenant compte des caractéristiques du sol, des précipitations et des systèmes de production appliqués dans cette région. Au sud, sous les formations alluvionnaire de la plaine de M'léta, le complexe moi-pliocène, représenté par des formations gréseuses et calcaires. Les alluvions sur tout le pourtour de la sebkha renferment une nappe phréatique caractérisée par une plus au moins forte minéralisation.

CONCLUSION

Dans les zones arides et semi-arides, l'approvisionnement en eau d'irrigation constitue l'un des facteurs déterminants dans la production agricole, aussi bien dans l'intensification des cultures, que dans l'extension des surfaces irriguées. Pour les régions tempérées, les eaux superficielles constituent la principale source d'eau d'irrigation ; alors que dans les zones semi-arides, où cette ressource est rare ou inexiste, on fait appel aux eaux souterraines. Le développement de l'agriculture dans ces zones rencontre actuellement, en dehors de la rareté des ressources hydriques, de nouveaux problèmes tels que le risque de salinisation des sols. Généralement, pour assurer le lessivage des sels, et satisfaire le besoin en eau des plantes, on fait appel à l'irrigation (Droubi,

1976). C'est ainsi que depuis une cinquantaine d'années, de grands périmètres ont été construits en Algérie pour combler le déficit en eaux des cultures. Cependant, ces pratiques d'irrigation à grande échelle ont modifié le fonctionnement des sols et accru le risque de salinisation. En Algérie, plus de 20 % des sols irrigués sont concernés par le problème de salinité (Douaoui et Hartani, 2007). D'après les résultats trouvés, on peut constater que :

- Les échantillons obtenus au terme des analyses chimiques montrent que les quatre échantillons analyses sont presque de même nature.
- Les sols sont agressifs vis-à-vis des structures métalliques et du béton.
- Des cavités de dissolution de la roche gypseuse

pourraient exister et être distribuées d'une façon aléatoire. Ces cavités sont d'ailleurs caractéristiques de toute cette zone, et elles se forment par dissolution du gypse en contact avec les eaux chargées en sulfates. Pour la construction dans ce type de sol des dispositions constructives spéciales doivent être prévues tel que :

- L'utilisation d'un ciment résistant aux sulfates.
- Système de drainage rigoureux.

Donc, une prospection adéquate est conseillée pour leur détection des vides ou cavités. Du point de vue de la pratique agraire les sols alcalo-salins représentent les conditions les plus défavorables pour la croissance et le développement des plantes agricoles. Pareillement, Parmi tous les facteurs de la dégradation des sols susceptibles d'être évoqués, il en est un qui domine largement tous les autres du fait de la fonction assignée aux sols dans notre société : il s'agit de l'intensification agricole. Les salines à gypse de la plaine de M'léta représenteraient un potentiel intéressant à condition de mettre au point une méthode rentable d'extraction du gypse de sa gangue argileuse. Une étude et des essais en ce sens sont recommandés. La perception de la salinité des sols n'est pas très différente de celle de l'eau, mais pour certains agriculteurs décrivent leur sol comme étant non salé.

PERSPECTIVES

En termes de perspective, un suivi sur terrain en parallèle avec une étude expérimentale au laboratoire pour suivre et prédire l'évolution géochimique et physique des sols irrigués par différents types d'eau se révèle être nécessaire. Ainsi, la carte de la salinité servira, d'outil de base dans la détermination des exploitations qui feront l'objet d'enquêtes auprès des agriculteurs. Ce suivi se fera par des observations

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Amaidi M, 1997. Suivi de la qualité des eaux et des sols dans la station expérimental de Souk Tlet du Gharb : Campagne 96/98". Mémoire de fin d'étude en Agronomie, Option Génie Rural, IAV Hassan II.
- Badraoui M, Merzouk A, 1994. Changes of soil qualities under irrigation : the effect of salt accumulation on water retention by Vertisols. In CIHEAM Ed., farm water management techniques, Rabat, Morocco.
- Badraoui M, Soudi B, Merzouk A, Farhat A, M'hamdi A, 1998. Changes of soil qualities under irrigation in the Bahira region of Morocco : Salinization. Advances in GeoEcology 31.
- Badraoui, M. 2006. Connaissance et utilisation des ressources en sol au Maroc.
- Belouam N, 1976. Caractérisation macromorphologique et micro morphologique de quelques sols à accumulation calcaires du Hodna. Ann. De l'INA ; El Harrache, VI VI, 1,53-79.
- Benyoussef B, 1998. Etude de révolution de la salinité des eaux et des sols drainés : Cas de la station expérimental de Souk Tlet. Mémoire de fin d'étude en Agronomie, Option Génie Rural, IAV Hassan II.
- Berga A, 2004. Eléments de Mécanique des Sols

Ceux-ci est du probablement :

- soit, la salinité est avérée mais l'activité de l'agriculteur n'est pas affectée s'il pratique un lessivage ou s'il gère la salinité d'une manière qui lui semble satisfaisante ;
- soit, la salinité mesurée n'est pas représentative de l'état de la parcelle dans sa totalité.

La première explication est la plus probable. Tout d'abord, ces parcelles se situent presque toutes en surélévation, elles bénéficient donc d'un drainage naturel. L'eau est moyennement salée à salée et selon les agriculteurs les sels seraient évacués par les drains artificiels ou directement par l'oued. L'ensemble de ces conditions contribue à diminuer les effets de la salinité et l'agriculteur qui arrive à gérer ces effets ne parlera pas de salinité ; il apparaîtra comme ayant une mauvaise perception de la salinité. Les régimes de salinité et d'alcalinité des sols (variations saisonnières) dépendent de l'ampleur des précipitations lixiviantes en hiver et au printemps et de la sécheresse en fin de cycle des cultures où le recours à l'irrigation est obligatoire. C'est ainsi que des sols non salés en hivers deviennent très salés en été suite à l'accumulation provisoire des sels après irrigation et évapotranspiration. Cette notion de régime salin du sol mérite une attention particulière dans l'avenir.

directes sur terrain, des analyses au laboratoire ainsi que par utilisation de la télédétection. Cette dernière sera également utilisée pour étudier l'historique de la salinité et de l'occupation du sol. Il faut donc agir en priorité sur la prévention contre la pollution des eaux souterraines en évitant l'implantation de décharges dans les régions vulnérables et en réduisant l'excès de fertilisants.

- Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique. Centre Universitaire de Bechar. Département de Génie Civil.
- Boyadgiev TG, 1974. Contribution to the knowledge of gypsiferous soils. GON/SF/SYR/67/522. FAO, Rome.
- Debbagh A, Hammani A, Zimmer D, Bouarf A S, Zraouili M, 1998. Expérimentation du drainage dans le périmètre du Gharb, suivi de la salinité des eaux et des sols ». Congrès International du Génie Rural, Rabat du 2 au 6 février 1998.
- Droubi A, 1976. Géochimie des sels des solutions concentrées par évaporation. Modules thermodynamiques de simulation, application aux sols sals du Tchad. Mémoire Docteur-Ingénieur (Sciences géologiques, 46), ULP, Strasbourg, France, 177 p.
- Douaoui A, Hartani T, 2007. Impact de l'irrigation par les eaux souterraines sur la dégradation des sols de la plaine du Bas-Chélif. Actes de l'atelier régional SIRMA. Tunis.
- Farhat A, 1995. Effets de l'irrigation par pivot sur la qualité des sols dans la Bahira : situation actuelle et perspectives de développement. Thèse de 3ème cycle, IAV Hassan II, Département Sci. Sol, Rabat, Maroc.
- Guettouche MS, Guendouz M, Boutiba M, 2006. Sur l'existence d'un modèle-type d'encroûtement des sols arides et semi-arides en Algérie : Etude comparative entre la Tafna (Algérie nord-orientale). Journal des Sciences pour l'ingénieur. N° 6/2006, pages 65 à 80.
- Hartani T, Douaoui A, Kuper M, 2009. Economies d'eau en systèmes irrigués au Maghreb. Actes du quatrième atelier régional du projet Sirma, Mostaganem, Algérie, 26-28 mai 2008. Cirad, Montpellier, France, colloques-cédérom.
- IRD 2008. Les dossiers thématiques de l'Institut de recherche pour le développement. Les sols sont fragiles : 1^{er} partie Salinisation et sodisation des sols. 2^{ème} partie La dégradation des sols par salinisation ou alcalisation. <http://www.mpl.IRD2008.fr/suds-en-ligne/sols/fragile/salinisation1>. <http://www.mpl.IRD2008.fr/suds-en-ligne/sols/fragile/degradation1>.
- Larson WE, Pierce FJ, 1991. Conservation and enhancement of soil quality. In evaluation for sustainable land management in the developing world. Vol. 2 : Technical papers.
- Bangkok, Thailand, Inter. Board for Soil Research and Management, IBSRAM Proceedings No 12(2).
- Le Borgne T, 2010. Caractérisation et quantification des éléments perturbateurs de prise lors du traitement des sols. Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Lorraine.
- Marlet S, Bouksila F, Mekki I, Benissa I, 2007. Fonctionnement et salinité de la nappe de l'oasis de Fatnassa : arguments géochimiques. Economies d'eau en systèmes irrigués au Maghreb. Actes du troisième atelier régional du projet Sirma, Nabeul, Tunisie, 4-7 juin 2007. Cirad, Montpellier, France, colloques-cédérom. M. Kuper, A. Zaïri, (éditeurs scientifiques) 2008.
- Mathieu C, Ruellan A, 1980. Evolution morphologique des sols irrigués en région méditerranéenne semi-aride. Cahier ORSTOM, Série pédologie, 13, 3-25.
- Mathieu C, Pieltain F, Jeanroy E, Marcovecchio F, Servain F, Soucheyre H, 2003. Analyse chimique des sols : Méthodes choisies. Editions Tec & Doc.
- Nezli IE, 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, ISSN 1112-3680, n° 06, décembre 2007, pp. 121-134.
- Pouget M, 1968. Contribution à l'étude des croûtes Et encroûtements gypseux de nappe Dans le sud-tunisien *Cah. ORSTOM, sér. Pédol. Vol. VI. N° 3-4.
- Robert M, 1992. Le sol, une ressource naturelle à préserver pour la production et l'environnement. Cahier Agriculture, 1: 20-34.
- Robert M, 1996. Le sol : interface dans l'environnement, ressource pour le développement. Masson, Paris, p.241.
- Rollings RS, Burkes JP, Rollings MP, 1999. Sulfate Attack on Cement-Stabilized Sand, Journal of Geotechnical and Geo-environmental Engineering, Vol. 125, N°5, 364-372.
- Sogreh, 2004. Rapport des études réalisées : géologie et tectonique, hydrologie, géophysique, hydrogéologie.
- Umalji DL, 1993. Irrigation-induced salinity. A growing problem for development and the environment. World Bank technical paper 215, p.78.