

Mohamed Hachicha

Institut national de recherche en génie rural,
eaux et forêts (INRGREF),
17, rue Hédi Karray,
BP 10,
Ariana 2080
Tunisie
<hachicha.mohamed@iresa.agrinet.tn>

Les sols salés et leur mise en valeur en Tunisie

Résumé

Compte tenu de la rareté des ressources en sol, les sols salés ont été améliorés dans plusieurs régions semi-arides de Tunisie. Depuis des décennies, plusieurs dizaines de milliers d'hectares ont été assainis. À côté de l'exploitation extensive des sols halomorphes améliorés pour les cultures pluviales, certaines plaines salées, particulièrement celles de la vallée de la Mejerda, ont été exploitées d'une manière intensive par drainage et irrigation. Ces plaines drainées ont subi une évolution des caractéristiques hydrologiques de la nappe phréatique et les matériaux des sols, originellement salés et sodiques, ont été l'objet de modifications de leurs propriétés physico-chimiques. Quelques cas de mise en valeur de sols salés sont présentés à titre d'exemples.

Mots clés : bonification des sols, gestion des sols, hydrologie, salinisation, Tunisie, zone semi-aride.

Abstract

Saline soils and their reclamation in Tunisia

Considering the rarity of soil resources in Tunisia, saline soils have been reclaimed in several semiarid regions of the country, and thus, for decades, several dozens of thousands hectares have been drained. Besides the extensive use of saline soils reclaimed for rainfed crops, a number of saline plains, in particular those of the Mejerda Valley, have intensively been exploited using drainage and irrigation techniques. In these drained plains, the hydrological characteristics of the groundwater table and the physicochemical properties of the soil material, originally saline and sodic, have been modified. A few cases of saline soil reclamation are presented in this paper.

Key words: hydrology, salinisation, semiarid zone, soil management, soil reclamation, Tunisia.

Dans les régions semi-arides et arides, la pénurie et la variabilité de la pluie et la forte évaporation affectent l'eau et l'équilibre des sels dans le sol. Les facteurs climatiques sont très favorables à l'ascension des sels, à la concentration de la solution du sol et à la précipitation des sels dans la zone racinaire et l'horizon superficiel entraînant la salinisation. Cette salinisation peut être naturelle ou anthropogénique. La gestion des sols affectés par les sels requiert une combinaison de pratiques agronomiques

basée sur une bonne définition des caractéristiques hydropédologiques et hydrauliques et des conditions locales incluant le climat, la culture et l'environnement socio-économique. Plusieurs pratiques sont généralement combinées dans un système intégré pour éviter la salinisation excessive et la baisse de la fertilité des sols [1].

Les sols salés de Tunisie

Les sols affectés par les sels en Tunisie couvrent environ 1,5 million d'hectares,

soit à peu près 10 % de la surface du pays (figure 1). On les rencontre dans l'ensemble du territoire mais c'est surtout dans le Centre et le Sud que l'aridité du climat cause leur extension [3]. Plusieurs formations géologiques constituent des sources de sels solubles. Les eaux de ruissellement et de drainage, enrichies en éléments solubles, s'écoulent vers les parties basses des bassins-versants. A partir de là, deux cas de figure se présentent :

soit le bassin-versant possède un exutoire et les sels migrent alors plus bas – c'est le cas de la vallée de la Mejerda ; soit le bassin-versant est endoréique et une sebkha se forme dans la partie la plus basse. Ces phénomènes se produisent toute l'année dans la partie aride de la Tunisie et pendant la saison sèche dans la partie méditerranéenne. Ils sont soit naturels, soit provoqués par l'irrigation. Sur le plan géochimique, les solutions (d'eaux de

surface, souterraines ou de sol) évoluent, au cours de leur concentration, selon la voie saline neutre [4], ce qui signifie que l'on observe, avec l'augmentation du facteur de concentration, la précipitation de certains sels dans un ordre déterminé (calcite, gypse, etc.) avec celle du NaCl en dernier lieu. On trouve aussi des composés beaucoup moins solubles comme le carbonate de calcium et le gypse, ou beaucoup plus solubles comme la bloedite et la thénardite. Ces sels, chlorures, sulfates ou carbonates, simples ou composés, se différencient par leur solubilité. Dans une région climatique homogène et pour un même régime hydrique des sols, plus un sel est soluble, plus il sera facilement et rapidement lessivé hors du profil et hors du bassin-versant qui lui a donné naissance. Cette remarque a amené Hachicha et Job [5] à considérer trois régions géochimiques différentes en Tunisie (figure 2) :

- la zone géochimique 1 correspond aux sols à lessivage partiel de NaCl et à dynamique lente du calcaire qui débouche sur des accumulations pouvant prendre la forme de croûtes et d'encroûtements. La présence de carbonates libres élève le pH de certains sols peu salés qui deviennent alcalins. Les pluies hivernales favorisent le lessivage des sels ;
- dans la zone 2, aux dynamiques observées dans la zone 1 s'ajoute la précipitation de gypse. Le calcaire s'accumule dans le profil sous forme de nodules. Les sols à texture limoneuse dominant, induisant des remontées capillaires plus importantes que dans le Nord. De grands bassins-versants se terminent en sebkhas. Les sols salés y sont souvent hydromorphes ;
- enfin, dans la zone 3, apparaissent en surface des sels très solubles (sulfates de magnésium et de sodium) et les encroûtements gypseux se généralisent. Les carbonates ne forment ni croûtes ni nodules. Ils migrent lentement dans le profil, contrairement aux sels de sodium et magnésium dont la circulation dans le paysage est très rapide. La salinité globale des sols se maintient à un niveau élevé toute l'année. Dans chaque grande région géochimique, on distingue des bassins-versants de tailles diverses. Chacun est une portion de paysage comprenant une partie haute, une partie intermédiaire où se produisent l'infiltration et le ruissellement, et une partie basse où s'accumulent les transports solides fins et où s'évaporent les sels. On y trouve généralement la séquence de sols suivants, de haut en bas des versants :
 - les sols peu évolués d'apport colluvial ;
 - les sols salins non hydromorphes ;
 - et les sols salins hydromorphes, avec ceux dont la nappe varie saisonnièrement et ceux dont la nappe est constamment près de la surface.

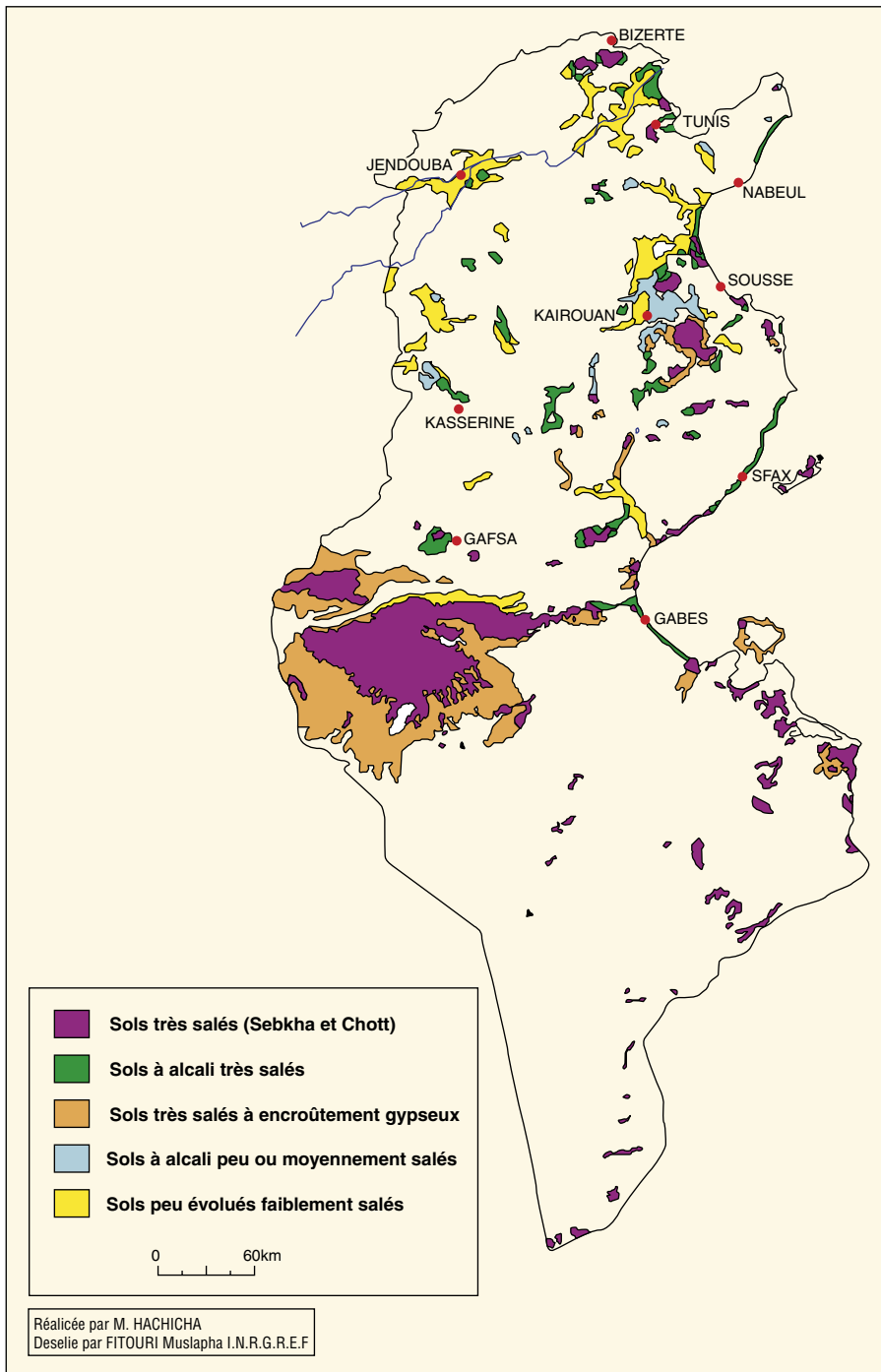


Figure 1. Les sols salés de Tunisie (d'après [2]).

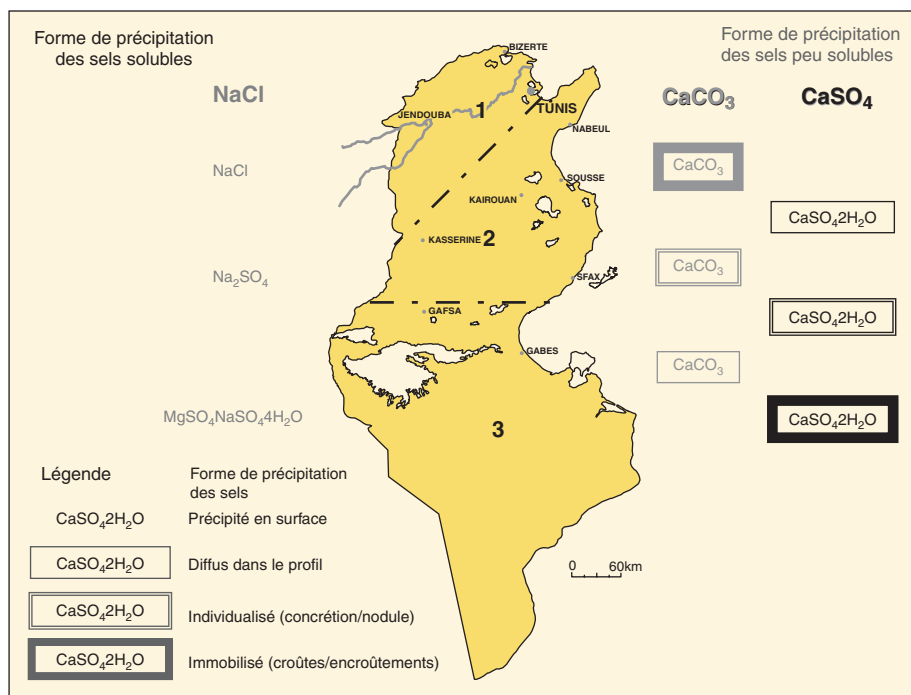


Figure 2. Grandes zones géochimiques de Tunisie (d'après [5]).

Cette séquence de sols présente des variantes suivant la zone géochimique concernée. Malgré la diversité des faciès, les sols halomorphes de Tunisie seraient à répartir dans le groupe des sols salins et dans le groupe des sols à alcali non lessivés.

Mise en valeur des sols salés

La mise en valeur traditionnelle des sols salés en Tunisie remonte à des millénaires et s'est intensifiée depuis environ un demi-siècle. Elle a reposé en grande partie sur le rabattement de la nappe. Cette bonification a eu lieu sous conditions pluviales et sous irrigation. Sur les 1,5 million d'hectares de sols salés, environ 300 000 hectares ont été bonifiés.

Depuis la fin des années 1940, plusieurs plaines du Centre et du Nord ont fait l'objet de travaux d'assainissement. Entre 1948 et 1956, 19 280 hectares ont été ainsi assainis [6]. Après l'indépendance (1956), les efforts se sont poursuivis essentiellement dans la basse et la haute vallée de la Mejerda (Nord) et Bled Abida (Centre ; Kairouan). L'assainissement des plaines relativement arrosées a permis leur désalinisation progressive [7]. Dans plusieurs zones de la vallée de la Mejerda, l'assainissement et le drainage étaient un préalable à la mise en valeur des terres.

Bonification des sols salés et sodiques sous conditions naturelles

- Cas des lunettes de la basse vallée de la Mejerda

Les lunettes sont assez répandues en Tunisie. Leur matériau d'origine éolienne subit depuis leur dépôt une évolution aussi bien physique que chimique [8]. À l'origine, le pseudo-sable, de nature argilo-limoneuse, était très salé et très sodique. Son évolution s'est concrétisée par l'apparition de nouveaux caractères d'organisation et de composition (figure 3) :

– *Caractères nouveaux d'organisation.* La structure massive du pseudo-sable a cédé la place à une structure prismatique à sous-structure polyédrique. À l'échelle microscopique, l'espace poral d'entassement qui caractérise le pseudo-sable s'est transformé en une microstructure tubulaire signifiant une réduction de la porosité intrapédique. En revanche, la porosité s'est améliorée dans l'horizon de surface du fait du travail du sol.

– *Caractères nouveaux de composition.* Le processus primordial qui a affecté les lunettes est la désalinisation. En fonction de leur solubilité, les trois principaux sels – carbonate de calcium, sulfate de calcium et chlorure de sodium – ont, dans l'ordre, subi un transfert de plus en plus intense. Le carbonate de calcium très peu soluble, n'a subi qu'une faible redistribution dans l'horizon. Le calcaire mis en solution a précipité près de l'aire de sa

dissolution, formant des microzones de décalcification. Cela se traduit macro-morphologiquement par l'existence de taches et de nodules calcaires dans la plupart des horizons. Quant au sulfate de calcium, il a subi une importante lixiviation. Cependant, il n'a pas quitté entièrement le profil puisqu'on le voit précipiter à la base de ce dernier où il va même se loger en micro-rosettes de gypse dans l'espace intergranulaire du pseudo-sable. En revanche, le chlorure de sodium a subi une lixiviation très poussée. Cette discrimination entre les sels se répercute sur le faciès géochimique des solutions du sol et leur saturation vis-à-vis de la calcite et du gypse, ainsi que sur la garniture cationique du complexe absorbant. Le faciès géochimique chloruré sodique du pseudo-sable passe à un faciès chloruré sulfaté sodique dans les horizons intermédiaires, puis à un faciès carbonaté calcique et magnésique en surface. Le complexe absorbant, originellement très sodique (taux de saturation de la capacité d'échange cationique (T) par Na (Na/T) > 50 %), a subi dans le premier mètre une désodisation assez poussée puisque le taux de sodium échangeable (rapport Na/T) chute à 36 %. Cette évolution est concrétisée par un déplacement du sodium par le calcium (alors que Ca/T est de 36 % en profondeur, il remonte en surface à 76 %). Le magnésium et le potassium varient assez peu. Cette désodisation n'a pas manqué d'avoir des répercussions sur la stabilité structurale du sol que l'enrichissement des couches superficielles en matière organique a contribué à améliorer. En définitive, et malgré la texture fine et les caractères salés et sodiques originels fortement exprimés, ce matériau a subi des modifications suffisamment importantes pour en permettre l'exploitation agricole. La désalinisation qui a porté seulement sur les 50 premiers centimètres, a suffi pour rendre les sols cultivables.

- Cas des sols salés de Garaât Oued Melah (Sahel - Monastir)

La Garaât Oued Melah est située près de Monastir. Le climat y est semi-aride avec en moyenne 350 mm de pluie par an. La Garaât couvre plus de 1 800 hectares inondables par les eaux de l'oued Melah. Le bassin initialement endoréique est devenu semi-endoréique avec le projet d'assainissement de la Garaât. L'aménagement réalisé vers 1980 a consisté à drainer une grande partie des eaux de ruissellement par un chenal débouchant à la mer au niveau du village de Khniss. Les travaux de mise en valeur ont démarré par l'exploitation des zones surélevées en commençant par des labours profonds et des semis de graminées puis en procédant

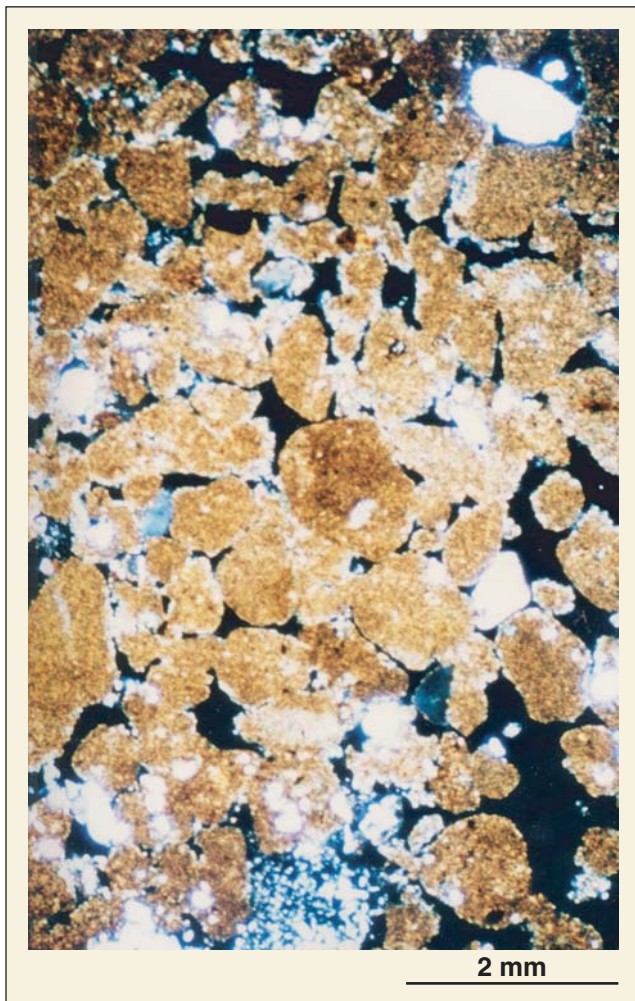


Figure 3. Pseudo-sables très salés et sodiques de la lunette d'El Mabtough (basse vallée de la Mejerda).

à l'installation d'arbustes forestiers et fourragers. Pour améliorer l'évacuation des eaux de la Garaât vers la mer et étendre l'aire forestière, une étude des sols salés de la zone a été réalisée [9]. Les sols rencontrés différaient les uns des autres, notamment par le degré de salinité et d'alcalinisation ainsi que par la présence d'horizons à hydromorphie temporaire. Les sols qui occupaient les surélévations déjà mises en valeur possédaient une salinité inférieure à 4 dS/m en surface et supérieure à 10 dS/m en profondeur. Quelques plantes halophytes y persistaient. Dans les zones basses, les sols étaient très salés et souvent sujets à une hydromorphie temporaire. La nappe apparaissait vers 1 m de profondeur. La salinité était assez élevée – environ 15 dS/m en surface et 25 dS/m en profondeur – et pouvait atteindre plus de 100 dS/m. Les sols de texture limoneuse présentent de bonne aptitude à l'infiltration de l'eau et au lessivage des sels par les pluies. Des mesures de la

perméabilité des sols par la méthode de Müntz ont révélé une perméabilité élevée (de l'ordre de 5,77 cm/h) et une drainabilité lente à moyenne (0,65 cm/h ; méthode Porchet). Le suivi de la piézométrie de la nappe à partir d'une trentaine de points a été entrepris au cours de l'été 1994. La salinité moyenne de la nappe était de 33 dS/m avec un faciès géochimique chloruré sodique. Le gradient hydraulique était orienté du sud au nord de la dépression. Au cours de l'été 1994, la profondeur de la nappe était de 3,5 m à l'amont de la dépression au sud et se confondait avec le niveau zéro à l'extrême aval au niveau de la digue des salines de Skanès. L'étude a révélé que la ligne d'écoulement principal ne coïncidait pas avec la direction du chenal aménagé pour l'évacuation des eaux de l'oued Melah. Ainsi, de crainte d'une intrusion marine, le drainage de la Garaât aurait dû prendre en considération la faible altitude de la partie aval où le niveau piézométrique finissait par pratique-

ment se confondre avec le niveau de la mer.

• Cas des sols salés de Sebkhia Kelbia (Tunisie centrale)

Le système de la Tunisie centrale est drainé par trois grands oueds – Zéroud, Merguellil et Nebhana – et comporte en ses parties centrale et aval un système complexe de sebkhas et de lacs. L'exutoire de tout ce système est la sebkha Kelbia qui couvre environ 200 km². Autrefois, avant la construction de trois importants barrages sur les trois oueds et pendant les grandes crues, la sebkha se déversait à la mer via l'oued Essed [7]. Comme plusieurs autres, cette sebkha présente une double physionomie [10]. En période aride, elle peut être assimilée à une sebkha continentale – sol salé plus ou moins desséché et aride – alors qu'en période de forte pluviométrie, la sebkha se transforme en lac. L'évolution hydrologique et le microrelief déterminent une zonation des sols d'allure auréolaire. Au cours de l'été 1995, douze profils pédologiques situés sur deux transects perpendiculaires ont permis d'analyser les caractéristiques physico-chimiques des sols [11]. Comme la végétation halophile reflète, dans un contexte climatique donné, les conditions physiques, chimiques et hydrologiques du sol, à côté des analyses physico-chimiques sur les sols prélevés dans les profils pédologiques, les plantes ont été déterminées. Deux zones ont ainsi pu être distinguées :

– au milieu, une zone ayant subi un ennoyage superficiel est complètement stérile (altitude < 16 m). Les sols y étaient halomorphes, à alcali, avec une salure de plus de 20 dS/m en surface et 40 dS/m vers 1 m de profondeur. Leur rapport Na/T était supérieur à 40. En été, la nappe descendait à plus d'1 m de profondeur ;
 – tout autour, une zone qui n'a pas subi d'ennoyage (16 m < altitude < 18 m) était colonisée par une végétation de *Salicornia arabica* de faible recouvrement. Les sols sont similaires à ceux de la zone précédente, sauf que la salinité était moins forte et l'hydromorphie était moins prolongée.

En bordure (altitude > 18 m), la végétation était variée :

- au nord, la végétation était à base d'*Atriplex halimus* à recouvrement moyen. La salinité du sol était de l'ordre de 10 dS/m en surface et la nappe était moins superficielle ;
- au sud, la végétation était formée d'*Arthrocnemum indicum* à fort recouvrement qui succédait à une association végétale à recouvrement plus lâche comprenant en particulier *Arthrocnemum indicum*, *Atriplex halimus*, *Tamarix africana* et *Cressa cretica*.

Les sols étaient moins salés et la nappe y était plus profonde ;

- à l'ouest, la végétation était dense, constituée d'*Arthrocnemum indicum* et d'*Halocnemum strobilaceum*. L'*Atriplex halimus* était présent à la bordure de la Sebkha. Les sols étaient de salinité assez élevée ;
- à l'est, la végétation était clairsemée composée d'*Arthrocnemum indicum* et d'*Atriplex halimus*.

D'après Novikoff [12], *Halocnemum strobilaceum* est indicatrice de salinité forte (70 à 90 dS/m), *Salicornia arabica* reflète une hydromorphie forte et une salinité moyennement forte (20 à 60 dS/m) et *Atriplex halimus* se rencontre en faible hydromorphie et en salinité variable (10 à 70 dS/m). Ainsi, les sols situés à une altitude supérieure à 18 m sont plus facilement récupérables.

Bonification des sols salés par irrigation et drainage

- Cas d'Utique et de Tozeur

Des expériences pour la récupération de sols salés ont été menées à Utique dans une sebkha côtière de la basse vallée de la Mejerda et à Helba en bordure du Chott Jérid à côté de l'oasis de Tozeur [13].

À Utique, l'essai de lessivage d'un sol salin à alcali formé de matériau limono-argileux calcaire a montré qu'avec le drainage, les pratiques culturales (irrigation et travail du sol) contribuent à la mise en valeur des sols salés [13]. La parcelle était située dans une sebkha initialement occupée par une végétation halophile et de taches complètement dénudées (figure 4). Pour la mise en culture irriguée, la parcelle a été drainée et équipée d'un réseau d'irrigation. L'eau provenait de l'oued Mejerda qui avait une conductivité électrique (CE) de 2,1 dS/m et un taux de sodium adsorbé (SAR, *sodium adsorption ratio*) de 5,7. La salure initiale du sol variait de 2 dS/m dans la zone fournie en végétation jusqu'à 60 dS/m en surface dans la zone dénudée. Un premier essai sur sol naturel

sans préparation et avec des doses de lessivage importantes apportées en une seule fois, n'a donné que peu de résultats positifs. Un second essai, dans lequel avaient été inclus le labour et le fractionnement des apports d'eau dans le temps, a permis un lessivage efficace. L'hétérogénéité constatée avant l'expérimentation entre zones avec et sans végétation, avait disparu assez vite ; les zones dénudées qui avaient une salure élevée (de l'ordre de 50 à 60 dS/m) en surface ont pu être ramenées à un taux permettant la culture (< 4 dS/m). Le lessivage de ce type de sols s'est révélé relativement facile, à condition d'associer le travail du sol au fractionnement des apports d'eau et de procéder à un lessivage en hiver. Par ailleurs, et grâce à la teneur importante du sol en calcium soluble (CaCO_3 et CaSO_4) et du SAR de l'eau d'irrigation (7), le rapport Na/T (taux de sodium échangeable) a été ramené en dessous du seuil critique de 15 %, et cela quelle que soit la profondeur. Cet abaissement de Na/T est d'environ 18 % en surface et de 5 % vers 1 m de profondeur. Cette expérimentation a donc permis une désalinisation et une désalcalisation du sol. La récupération de sols fortement affectés par le sel grâce à l'irrigation et au drainage a été rendue possible du fait de la composition chimique de l'eau d'irrigation, du faciès des solutions du sol qui évoluait dans la voie saline neutre, et de la teneur importante des solutions en calcium soluble.

À Helba (Tozeur), l'expérimentation a été menée sur un sol sablo-limoneux, salin, gypseux et hydromorphe [13]. La nappe y était située entre 0,5 et 1 m de profondeur (figure 5). Un ancien réseau de collecteurs a été remplacé par un nouveau système de collecteurs plus profonds et de drains enterrés. L'eau d'irrigation avait une CE de 3,1 dS/m et un SAR d'environ 6,3. L'eau de drainage avait au début de l'expérimentation, en 1964, une CE de 18 dS/m et un SAR de 17,3. Quatre ans plus tard, en

1968, la CE n'était plus que de 11 dS/m. De même, la salinité de la nappe avait décliné de 17,6 dS/m à 10,6 dS/m. La salure très élevée du sol au début de l'expérimentation était la conséquence d'une sous-irrigation et d'une déficience de drainage. Dès la première année, une réduction très importante de la salinité s'est produite, la CE passant de 55,3 dS/m à 5,7 dS/m dans la couche 0-20 cm. La plus grande quantité de sels a été évacuée au cours des six premiers mois d'irrigation, soit plus de 137 t/ha. La valeur 5 à 6 dS/m semble être la limite inférieure de la CE d'un sol gypseux irrigué avec des eaux titrant 2 g/L (3,1 dS/m).

- Cas de Kalaât Landelous et Cebala Ben Ammar

Dans le grand système hydropédologique de la Mejerda, l'hydromorphie et l'halomorphie affectaient à des degrés divers les sols peu évolués d'apport alluvial de plusieurs plaines inondables et dépressions. Ces formations évoluaient sous l'effet d'une nappe phréatique salée proche de la surface du sol. Les terres étaient initialement exploitées extensivement pour la production de cultures céréalières et fourragères et comme parcours. Elles ont fait l'objet d'une mise en valeur pour le développement de cultures maraichères et fourragères irriguées d'été par l'installation de réseaux d'assainissement-drainage et d'irrigation. Quelques aménagements récents de sols salsodiques ont été étudiés sur les plaines de Kalaât Landelous [14] et de Cebala-Borj Touil [15], situées à une trentaine de kilomètres au nord de Tunis et limitées à l'est par la mer Méditerranée. Le climat y est semi-aride avec une pluviométrie moyenne annuelle d'environ 470 mm. Ces plaines alluviales côtières ont été gagnées sur la mer. Elles sont quasi plates et d'altitude comprise entre 3 et 8 m au-dessus du niveau de la mer. Leurs sols, constitués des alluvions argilo-limoneuses calcaires déposées par la Mejerda, sont peu évolués, à caractère d'halomorphie et d'hydromorphie et à dominance d'argiles gonflantes. Les aménagements hydroagriques des périmètres de Cebala et de Kalaât ont démarré en 1986 sur environ 3 000 hectares chacun. À Kalaât, environ un millier d'hectares étaient formés de terres marécageuses sous l'influence directe de la mer. Le réseau de drainage comprend des drains enterrés, des collecteurs et des émissaires à ciel ouvert et une station de pompage qui refoule l'eau vers la mer. L'eau provenant de la Mejerda titre environ 2 g/L (3 dS/m). À Cebala, environ un millier d'hectares ont été récupérés sur Garaât Ben Ammar (Garaât est une forme de sols



Figure 4. Sols salés et sodiques des sebkhas.



Figure 5. Bonification des sols salés et sodiques des bordures de Chott Jérid : parcelle cultivée et irriguée en plein sols salés et sodiques (Tozeur).

salés à hydromorphie temporaire) constitué de sols salés et sodiques inondables. Le réseau de drainage comprend des drains enterrés sur environ 500 hectares, des collecteurs et des émissaires à ciel ouvert. L'évacuation des eaux de drainage s'effectue par gravité vers la mer. Pour Cebala, l'eau d'irrigation provenant de la station de traitement des eaux usées de Choutrana, titre environ 2,5 g/L (3,5 dS/m). L'assainissement de ces plaines a induit un rabattement et une homogénéisation du niveau piézométrique. La nappe se situe actuellement vers 1,5 m. La bonification entraînée par la maîtrise de la nappe a agi sur les propriétés des sols que le lessivage des sels par les pluies a renforcées. Cette mise en valeur de sols salés s'est concrétisée par leur désalinisation manifeste. Actuellement, la salure du sol est en moyenne de l'ordre de 2-3 dS/m en surface, et de 7-9 dS/m à proximité de la nappe à environ 1,5 m de profondeur [2].

Conclusion

À côté de la perte de sols par salinisation, il existe plusieurs mises en valeur de sols affectés par les sels qui ont été réalisées. La Tunisie possède une expérience dans ce domaine. Plusieurs facteurs ont permis la récupération des sols salés. Certains sont relatifs aux caractéristiques des sols et à la nature des sels, et d'autres au contexte climatique. En effet, l'évolution des solu-

tions se produit par la voie saline neutre. L'état de saturation des solutions du sol par rapport au gypse ne rend pas nécessaire l'utilisation de ce dernier dans la restauration des sols. Cette bonification est encore plus facile pour les sols sableux du Sud (Tozeur). Cependant, la contribution des pluies dans le lessivage des sels est moins significative que dans le Nord. La récupération des sols salés en Tunisie a reposé sur la maîtrise du régime de la nappe. La désalinisation qui a suivi a permis l'introduction de nouvelles cultures.

Enfin, la situation globalement endoréique de la Tunisie, la quantité totale de sels en mouvement dans le paysage augmente avec le temps. La salinisation des sols est à craindre dans les terres basses. Des prémices de ces nouvelles sebkhas sont perceptibles dans certaines dépressions du Centre. ■

Références

1. Mashali AM. *Integrated soil management for sustainable use of salt-affected soil and network activities*. Proceedings of the International workshop on integrated soil management for sustainable use of salt-affected soils, Manila, Philippines, 8-10 November 1995.
2. Hachicha M. *Mise en valeur des sols salés. Organisation, fonctionnement et évolution de sols salés du Nord de la Tunisie*. Thèse de doctorat, Ensa Rennes, 1998.

3. Hachicha M, Job JO, Mtimet A. Les sols salés et la salinisation des sols en Tunisie. *Sols de Tunisie, Bulletin de la Direction des Sols* 1994 ; (15) : 270-341.
4. Gallali T. *Transferts sels-matière organique en zones arides méditerranéennes. Contribution à l'étude pédobiologique des sols salsodiques formés sur matériaux sédimentaires*. Thèse, doctorat d'État, université de Nancy I, 1980.
5. Hachicha M, Job JO. *Suivi de la salure des périmètres irrigués de Tunisie par conductivimétrie électromagnétique. Rapport Final*. Tunis : Direction des sols ; Orstom, 1994.
6. Direction générale du génie rural (DG/GR) ; SCET-Tunisie. *Plan directeur de l'assainissement des plaines du Nord*. Tunis : DG/GR-SCET-Tunisie, 1975.
7. Chekir H. *Aménagement de Sebkhia Kelbia – Note bibliographique*. Tunis : Direction générale des équipements et grands travaux hydrauliques (DG/EGTH), ministère de l'Agriculture, 1992.
8. Hachicha M, Stoops G, Mhiri A. Aspects micromorphologiques de l'évolution des sols de lunettes argileuses en Tunisie. In : *Micromorphologie des Sols*. Actes de la réunion internationale de micromorphologie, Paris, juillet 1985. Olivet : éditions Afes, 1987.
9. Hachicha M, Zidi C, Braham O. *Étude des sols salés de Garaât Oued Melah-Organisation et comportement hydrodynamique des sols et régime de la nappe*. Direction des Sols, Étude n°636. Tunis : Direction des sols, ministère de l'Agriculture, 1995.
10. Belkhdja K. Origine, évolution et caractères de la salinité dans les sols de la plaine de Kairouan (Tunisie Centrale). Contribution à l'étude de leur mise en valeur. Thèse de doctorat-ingénieur, université de Toulouse. *Bulletin de la Division des Sols* 1974 ; (4) : 105 p.
11. Hachicha M. *Les sols salés et leur mise valeur en Tunisie*. Atelier national « Aménagement intégré des bassins-versants autour des Sebkhas », Monastir, 25-26 décembre 2002, 2002.
12. Novikoff G. Contribution à l'étude des relations entre le sol et la végétation halophile en Tunisie. *Ann INRAT* 1961 ; 34 : 339.
13. Centre de recherche sur l'utilisation de l'eau salée en irrigation (CRUESI). *Recherche et formation en matière d'irrigation avec des eaux salées, 1962-1969*. Rapport technique, Tun. 5. Paris : s.n., 1970.
14. Hachicha M, Chevry C, Mhiri A. The impact of long-term irrigation on changes of groundwater level and soil salinity in northern Tunisia. *Arid Soil Res Rehabil* 2000 ; (14) : 175-82.
15. Hachicha M, Djelidi B, Trabelsi A, Brari N. Impact du drainage sur les variations saisonnières de la salinité dans le périmètre irrigué de Cebalat-Borj Touil irrigué aux eaux usées épurées. Direction des sols, ES 264. Tunis : Direction des sols, ministère de l'Agriculture, 1992.