
COLLOQUES ET CONGRÈS

Observations sur les caractéristiques, la dénomination et la classification des sols salés ou salsodiques⁽¹⁾

Georges AUBERT

Professeur de Pédologie O.R.S.T.O.M.

Services Scientifiques Centraux, 70-74, route d'Aulnay, 93140 Bondy (France)

RÉSUMÉ

Dans les « sols salés » nous incluons tous les sols dont l'évolution est dominée par leur richesse en sels solubles ou par les ions en provenant et provoquant la dégradation de leur structure qui devient diffuse. Il est proposé de les dénommer « sols salsodiques ».

On peut y distinguer des sols salins non alcalisés, à structure non dégradée, des sols à alcali peu ou moyennement salés et des sols très salés à alcali à structure lamellaire, boursoufflée ou à pseudo-sable en surface. Ces trois catégories, très différentes les unes des autres, doivent rester distinctes.

Les sols à carbonates sodiques sont généralement salés à alcali. Certains sols salés hydromorphes sont riches en sulfures : sols thioniques.

La dernière partie de cet article expose les règles de classification des sols salsodiques dans la logique de la classification pédologique morphogénétiques C.P.C.S. française.

SUMMARY

OBSERVATIONS ON THE CHARACTERISTICS, NAME AND CLASSIFICATION OF THE SALT-AFFECTED OR "SALSODIC" SOILS

The salt-affected soils category includes all the soils whose evolution is dominated by their content in soluble salts or in ions derived from them and degrading their structure which becomes diffuse. The soils can be named "salsodic soils".

Among them can be distinguished non alkali saline soils with a non degraded structure, non or medium saline alkali soils, and very saline alkali soils, with a lamellar or swollen structure, or pseudo-sand in the surface horizon. They correspond to three very distinct categories.

Sodium carbonate soils are saline alkali soils in most cases. Some hydromorphic saline soils are rich in sulfides: Thionic soils.

The last part of this paper gives the classification rules for these salsodic soils in the framework of the french morphogenetic soils classification (C.P.C.S.).

(1) Communication présentée au XII^e Congrès de l'Association internationale de science du sol, New Delhi, février 1982.

1. DÉFINITION ET DÉNOMINATION DES SOLS SALÉS

1.1. **Les sols « salés »** sont ceux dont l'évolution est dominée par la présence de fortes quantités de sels solubles — plus solubles que le gypse — ou par la richesse de leur complexe absorbant en ions provenant de ces sels et susceptibles de dégrader leurs caractéristiques et propriétés physiques, en particulier leur structure, qu'ils rendent diffuse.

Ces deux caractères de ces sols modifient également et diminuent le développement de leur végétation et des cultures que l'on peut y faire.

Certains des sols « salés » n'ont que l'un de ces caractères, d'autres présentent les deux à la fois.

1.2. **Les sels** les plus habituels dans ces sols sont les chlorures, sulfates, bicarbonates, carbonates, borates, nitrates, parfois fluorures de sodium. Dans quelques cas, ce sont des sels de potassium. Les sels de magnésium, sulfates en particulier peuvent s'y trouver. Enfin les chlorures de calcium ou de magnésium, ou mixtes de ces deux cations, donnent également naissance à des sols salés ; dans ce cas ils sont dits « à salant hygroscopique ». Ils sont parfois — sols de mangroves des zones littorales des régions tropicales, ou sols de polders marins, sols d'oasis d'Afrique du Nord, etc. — accompagnés de sulfures de fer qui par oxydation acidifient les *sols salés thioniques* ou à *sulfures acidifiants*.

1.3. **Le sodium**, en excès dans le complexe absorbant du sol, peut en *dégrader la structure*. Ces sols à structure diffuse sont souvent dénommés *sols à alcali* ou *sodiques*.

Il apparaît que dans certains cas — richesse en humus, type d'argile — le magnésium peut aussi provoquer l'apparition de cette structure diffuse (E. M. SAMOILOVA, 1979). Les conditions de développement d'un tel processus n'ont pas encore été nettement précisées.

1.4. La présence de ces sels transforme profondément l'évolution du sol

Elle influence en particulier :

- les rapports sol-eau ;
- les propriétés physiques du sol, structure, porosité, etc., donc la circulation des solutions ;
- l'état physique de certains éléments — en solution, pseudo-solution ou dispersion — et, par conséquent, les possibilités de leur migration ;
- la végétation, et les résidus qu'elle laisse sur et dans le sol, généralement en les diminuant ;
- l'activité biologique du sol et donc la nature des produits humiques formés ainsi que le cycle biogéochimique des éléments minéraux (GALLALI, 1980) ;
- la dynamique des oligo-éléments, en particulier par une modification — baisse ou augmentation suivant les cas — du pH du sol.

1.5. **La dégradation de la structure du sol** par alcalisation y modifie la circulation de l'eau de pluie ou d'irrigation et de ses solutions.

Elle est souvent accompagnée d'une élévation du pH à 9 et au-delà.

— Pour les raisons indiquées ci-dessus, il paraît nécessaire de réserver à ces sols une place importante dans la *classification des sols*.

Le terme de « sols salés » ne convient pas puisque certains sols à alcali, solonetz et sols solodisés ne sont pas salés et ne l'ont jamais été. Celui de « *sols sodiques* » ne peut, non plus, être retenu puisque les sols à salant hygroscopique ne contiennent pas ou peu de sels de sodium. Le terme de « *Sols salsodiques* » paraît préférable (J. SERVANT, 1975).

2. TYPOLOGIE DES SOLS « SALÉS »

2.1. Sols salins

2.1.1. Parmi les sols « salés » certains sont *riches en sels solubles* et leur *structure est conservée*. Ils peuvent avoir aussi une teneur en sodium échangeable assez basse pour que le SAR de leur extrait de pâte saturée soit < 13 p. cent, le ESP < 15 p. cent et la valeur Na échangeable/Capacité totale d'échange du complexe soit < 17,5 p. cent ou 15 p. cent suivant les auteurs. (L. A. RICHARDS, 1954, Soil Science Soc. America 1971).

2.1.2. Certains auteurs ont insisté sur la *rareté de ce type de sols* (I. P. ABROL et D. R. BHUMBLA, 1978). Il est

exact que dans le cas le plus fréquent un sol riche en sels — même chlorure et sulfate de sodium — présente en même temps une teneur élevée — ou au moins supérieure aux limites précédentes — en sodium échangeable. Les auteurs précités en ont donné de nombreux exemples. Il n'empêche qu'il existe fréquemment des sols salins possédant non seulement une structure non diffuse, mais aussi des valeurs de ESP et de Na/T suffisamment basses pour ne pouvoir être assimilés à des sols à alcali. G. O. CONNOR les a décrits dans la vallée du Rio Pecos dans le New Mexico-USA (1979) ; Ch. OLLAT et coll. dans la vallée de la Medjerda en Tunisie (1969) ; nous en avons indiqué d'autres de la vallée du Chélif en Algérie (1975) et Y. DAUD, dans la même région, mais à 120 km des premiers (1981). Il en existe aussi dans le sud de la France, auprès de la Méditerranée (J. SERVANT, 1975).

De tels sols s'observent particulièrement dans des matériaux très sableux (sud-Tunisie), ou très riches en calcaire actif (Vallée du Chélif-Algérie) ou en gypse suffisamment fin pour être facilement solubilisable (Sud-Tunisie).

2.1.3. Certains sols salins ne sont pas enrichis en sels de sodium mais en *chlorure de Calcium ou de magnésium* ou en un *chlorure mixte* de ces deux alcalino-terreux, la *tachyhydrite*. Ces sols à « *salant hygroscopique* » ont été décrits depuis longtemps (1947) en Californie et plus récemment dans le sud de la France (J. SERVANT, 1975) et sur les Hauts plateaux d'Algérie (M. POUGET, 1979). Ils existent en de nombreux autres pays où ils se sont formés dans un matériau Calco-magnésien.

2.1.4. Il est donc bien démontré qu'il existe des *sols salins*, non à alcali. Ils sont de plusieurs types mais ils se distinguent toujours très nettement des sols salés à alcali.

2.2. Sols à alcali

2.2.1. Pour nous, les *sols à alcali* sont caractérisés par la présence d'un horizon limoneux ou argileux présentant une structure dégradée devenue diffuse, sous l'influence des ions sodium ou potassium ou des ions sodium et magnésium sur une épaisseur suffisante — au moins 15 cm —, en surface ou en profondeur mais dans le profil de sol. Elle reste telle même en saison sèche, au moins à l'intérieur de grandes mottes de sols, prismes ou polyèdres grossiers.

2.2.2. Pour pallier le manque de précision d'une telle définition difficilement quantifiable, il a été proposé (L. A. RICHARDS, 1954 ; S.S.S. America 1971, FAO-UNESCO 1977, USDA 1979), de *prendre une limite précise* de Na/T (15 p. cent) ou de ESP = 15 p. cent — ce qui correspond à Na/T = 17,5 p. cent — ou du SAR de l'extrait de pâte saturée du sol (13 p. cent). En fait les valeurs de 13 p. cent pour SAR et 15 p. cent pour ESP ne se correspondent qu'approximativement, car la relation entre ces deux valeurs dépend de la proportion des différents types de sels dans la solution du sol et des éléments du sol lui-même. D'ailleurs la valeur de 15 (ou 17,5) p. cent pour Na/T n'a aucune signification précise. La teneur en sodium échangeable du complexe correspondant au point de dégradation de la structure du sol varie avec la constitution de celui-ci : proportion d'éléments humiques et d'argile, type d'argile, nature et proportion des cations échangeables autres que le sodium, etc. (J. P. QUIRK, 1957 ; G. AUBERT, 1951 ; J. D. RHOADES *and coll.*, 1976).

L'observation de la structure, si possible aux deux périodes de l'année, saison des pluies et saison sèche — ou, au moins lors de cette dernière — nous paraît préférable à ces déterminations, précises en elles-mêmes mais non dans leur interprétation.

2.2.3. Certains de ces *sols à alcali* sont *peu ou non salés*. Dans de nombreux cas : Relizane en Algérie, Vallée du Niger au Mali, Californie, etc., ils n'ont subi aucune migration d'argile et seule la structure diffuse de leur horizon à alcali les caractérise.

Dans d'autres cas, plus fréquents, l'horizon enrichi en sodium échangeable et à pH souvent voisin de 9 est aussi un horizon d'accumulation d'argile à structure en colonnettes, en prismes grossiers ou massive et diffuse.

Ces *solonetz* ont été étudiés depuis très longtemps (K. K. GEDROIZ, Von SIGMOND, W. P. KELLEY) mais récemment encore (V. KOVDA, 1965 ; I. SZABOLCS, 1974). Parfois apparaît au sommet de B un horizon blanchi par dégradation de l'argile et entraînement latéral : *solods et sols solodisés*.

2.2.4. Il existe aussi des *sols à alcali moyennement salés* riches en chlorure et sulfate de sodium (conductivité de l'extrait de pâte saturée de 8 à 16 mmhos et Na/T de 15 à 18 ou 20 suivant les cas). Ils présentent généralement en surface une structure grumeleuse à polyédrique plus ou moins émoussée en pleine saison sèche, mais leur stabilité structurale est très faible. Dès qu'ils sont un peu humidifiés, malgré la présence des sels neutres, leur structure se dégrade et devient diffuse. Leur horizon à alcali, généralement superficiel, est alors très massif et leur perméabilité est très faible, surtout dès qu'ils sont humides.

La désalinisation de tels sols, parfois calcaires, mais à calcaire peu actif, et non gypseux, est difficile par suite de cette perméabilité très basse, qui n'est maintenue suffisante, même en fin de lixiviation des sels du sol, que si l'eau employée pour cette amélioration est légèrement salée. L'apport de gypse moulu au sol peut aussi faciliter cette opération.

2.3. Sols salés à alcali

D'autres sols à alcali peuvent être très salés, sans cependant présenter une croûte saline en surface, ni prendre la structure particulière des *takyrs*, qui ne paraît pas liée d'ailleurs à la présence des sels. Leur structure est très dégradée et diffuse dans certains horizons. En surface elle est généralement lamellaire — parfois squammeuse — sur 1 à quelques centimètres — ou boursouflée (sols d'oasis du Sud Algérien — Touggourt ; vallée du Chélif en Algérie) ou même en pseudosable sur 2 ou 3 à 10 centimètres comme dans le Sud de la France, en Algérie, en Tunisie (G. AUBERT et J. BOULAIN, 1967). Ce pseudosable n'est que les fins morceaux de la pellicule argileuse de surface, lamellaire, déchiquetée par les longs cristaux de sels apparus lors de la dessiccation du sol (J. SERVANT, 1975).

De tels sols sont nettement différents des sols salins à structure conservée grumeleuse ou polyédrique plus ou moins émoussée. Les sols salins et sols très salés à alcali (solonchaks) ne peuvent être classés dans une même catégorie, sinon au niveau supérieur de la classification, au niveau de la classe.

2.4. Sols à carbonate de sodium

La présence de ce sel sodique, d'hydrolyse alcaline, imprime souvent aux sols qui le contiennent une morphologie particulière (salant noir) : pellicules humiques imprégnant les centimètres superficiels du sol, ou recouvrant les efflorescences de carbonate de sodium à sa surface (Cl. CHEVERRY, 1977) ainsi que certaines propriétés physiques telles que structure dégradée, diffuse, faible perméabilité, etc. et chimiques : pH élevé, dynamique spécifique des oligo-éléments, etc.

Ce sont toujours des sols à alcali, parfois très peu salés (Vallée du Niger-Mali, S. TOUJAN, 1980 ; G. AUBERT, 1954), parfois très salés (V. KOVDA, 1965 ; Cl. CHEVERRY, 1977). Ils peuvent aussi évoluer en solonetz (I. SZABOLCS, 1974 ; D. R. BHUMBLA and I. P. ABROL, 1977, G. P. PETROSSIAN, 1978).

Il nous paraît qu'au moins une catégorie particulière doit leur être réservée dans les sols à alcali peu salés et une autre dans les sols très salés à alcali.

2.5. Sols salés à sulfures acidifiants ou sols salés thioniques

Il est fréquent que les sols des zones littorales soient à la fois salés et riches en sulfures de fer qui, par oxydation, lors d'un assainissement profond, par exemple, peuvent provoquer une très forte acidification du sol jusqu'à pH 1,6 à 2 (Sénégal : J. VIEILLEFON, 1975 ; Cl. MARIUS, 1979). Ils peuvent aussi exister dans certains secteurs irrigués avec une eau riche en SH₂ (Touggourt-Sud Algérie). Ces sols nous paraissent pouvoir être rattachés, dans la majeure partie des cas aux sols salsodiques (classification pédologique CPCS-France 1967). Ils le sont dans d'autres classifications ou systèmes de classement, aux sols peu évolués (USDA Soil Taxonomy 1979-FAO-UNESCO Légende de la Carte des Sols du Monde 1975). Certains pédologues leur réserveraient, à un niveau plus élevé encore de la classification, une catégorie à part (J. VIEILLEFON, 1978).

3. CLASSIFICATION DES SOLS SALSODIQUES

Pour terminer nous n'indiquerons que les règles de classification proposées pour les sols salsodiques, aux différents niveaux, dans la logique morphogénétique de la classification française CPCS (1967).

3.1. La classe

Pour juger de la salure du sol nous préférons utiliser la conductivité de l'extrait de pâte saturée, comme recommandé à la suite des travaux de l'équipe de Riverside-USA. (L. A. RICHARDS, 1954), que la teneur du sol en sels solubles comme dans la classification soviétique (1977) ou maintenant dans la Soil Taxonomy, USDA (1979). Cela permet de garder la même limite quelle que soit la texture du sol. L'influence de cette teneur en sels solubles sur l'évolution du sol et sur le développement de la végétation, est d'autant plus forte pour une valeur donnée exprimée en poids de sel par rapport au poids de terre que le sol est plus sableux. L'influence de la texture

du sol ne joue pratiquement pas dans le cas de l'interprétation de la conductivité de l'extrait de pâte saturée. Nous gardons la même valeur pour cette détermination que les sels soient des sulfates ou des chlorures, malgré leur nocivité différente sur la végétation. Par contre leur action sur les caractères des sols est en effet assez semblable. La valeur de 8^m/mhos peut être retenue lorsqu'il s'agit des horizons supérieurs du sol ; celle de 16 mmhos peut être proposée pour des horizons de profondeur lorsque la salure y est surtout développée dans ces derniers.

Dans le cas de sols salés à carbonate de sodium, dont l'effet sur le sol et sur la végétation est beaucoup plus important, la conductivité limite peut être fixée à 4 mmhos pour les horizons supérieurs. Nous ne pouvons avancer aucun chiffre dans le cas des sols dont la salure est due aux borates ou aux nitrates de sodium.

Cette définition exclut de cette classe les *sols salés très sableux*, dont on ne peut pratiquement réaliser une pâte saturée. Leur teneur en sels solubles est d'ailleurs très rapidement variable, à la merci d'une pluie d'orage ou d'une irrigation. Ils peuvent être classés comme sous-groupe, ou, en général, mieux, comme faciès dans telle autre classe à laquelle correspond l'ensemble de leurs caractères, autres que leur salure.

Lorsque le sol est moins salé il appartient cependant à la classe des sols salsodiques s'il possède dans son profil un horizon (au moins 15 à 20 cm d'épaisseur) à structure diffuse comme indiqué précédemment.

3.2. Les sous-classes

Deux sous-classes sont définies en fonction de la transformation du pédoclimat et de la circulation des solutions dans le sol sous l'influence des sels ou des ions en provenant :

Sols salins dont aucun horizon n'acquiert une structure dégradée, diffuse, sous l'influence des ions sodium ou potassium (ou magnésium?).

Sols à alcali dont un horizon (sur au moins 15 à 20 cm ou plus), présente une structure diffuse même en saison sèche, ce caractère étant dû à une teneur suffisamment élevée en ions sodium ou (rarement) potassium, et/ou magnésium (?).

3.3. Les groupes

Ils sont définis, dans cette classification, par des caractères du sol — morphologiques, chimiques, etc. — qui expriment les processus pédologiques qui ont fait évoluer les sols.

Dans le cas de cette classe, dans les *sols salins*, le processus le plus important est l'enrichissement progressif du complexe absorbant en sodium. Aussi peut-on y différencier deux groupes, l'un à complexe essentiellement calcique ou calci-magnésique, et l'autre à complexe calci-sodique (J. SERVANT, 1975).

Dans les *sols à alcali* les processus définissant les groupes sont, soit la migration de l'argile et son accumulation en profondeur (solonetz), soit sa dégradation (sols solodisés).

3.4. Les sous-groupes

Dans les divers groupes de sols, deux types de sous-groupes peuvent exister :

3.4.1. les uns fondés sur l'intensité du phénomène caractéristique du groupe, sur sa répartition dans le profil, ou sur certains effets particuliers du processus fondamental ; dans ce cas, des sous-groupes seront caractérisés par l'intensité de la salinisation, par la répartition du sel dans le profil (profil salin) (J. P. COINTEPAS, 1968 ; J. SERVANT, 1975), par le type de structure de l'horizon superficiel : lamellaire, à pseudo-sable ou boursoflée, etc., par son induration ; par la présence d'alcali noir ; ou par la structure de l'horizon d'accumulation d'argile : massive ou en colonnettes ;

— par l'apparition de caractères indiquant le développement d'un processus considéré comme secondaire : hydromorphie due à une nappe phréatique, accumulation de gypse dans le profil, présence d'un horizon hydro-morphe riche en sulfures susceptibles de provoquer son acidification par oxydation. Les limites des divers groupes et sous-groupes restent encore à préciser pour que puisse être proposée une classification précise et adaptée aux connaissances actuelles des sols salsodiques dans la logique de la classification morphogénétique de la CPCS-France.

Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M.
Le 2 février 1983

BIBLIOGRAPHIE

- ABROL (I. P.), BHUMBLA (D. R.), 1978. — Some comments on Terminology relating to salt affected soils. Dryland — saline — seep Control 6-19-27.
- AUBERT (G.), 1954. — Cours de pédologie. O.R.S.T.O.M. polye.
- AUBERT (G.), 1975. — Les sols sodiques en Afrique du Nord. *Ann. Inst. Nat. Agron.*, Alger, VI : 185-195.
- AUBERT (G.), 1979. — Sols salés en Afrique tropicale. UNEP URSS Ac. of Sci. Seminar on salinity problems.
- AUBERT (G.), BOULAIN (J.), 1967. — La pédologie. Que sais-je ? PUF, Paris.
- BHUMBLA (D. R.), ABROL (I. P.), 1977. — Saline and sodic soils Symposium « Soils and Rice ». IRRI Los Banos, Laguna Philippines.
- CHEVERRY (Cl.), 1974. — Contribution à l'étude pédologique des polders du Lac Tchad. *Trav. et Doc. de l'O.R.S.T.O.M.* Paris.
- COINTEPAS (J. P.), 1968. — Exposé sur les sols salés de Tunisie. Réunion Pédologues O.R.S.T.O.M. Bondy — Ronéo.
- CONNOR (G. O.), 1979. — Minimizing the salt burden of irrigation drainage water in the Pecos Valley of New Mexico. N.M.S.U., USA.
- C.P.C.S., 1967. — Classification pédologique des sols. Grignon (France).
- DAOUD (Y.), 1981. — Contribution à l'étude de la dynamique de l'eau et des sels dans un sol irrigué du périmètre du Haut Chélif, Alger.
- FAO-UNESCO, 1975. — Carte Mondiale des sols — 1/500.000, vol. I, légende, UNESCO, Paris.
- GALLALI (Th.), 1980. — Transfert sels — matière organique en zones arides méditerranéennes. Univ. Nancy INPL.
- KOVDA (V.), 1965. — Alkalisoda — Saline soils — Agrochemia and Talajatan. 14 — sup.
- OLLAT (Ch.) *et coll.*, 1969. — Salure et alcalisation d'un sol salé et calcaire irrigué avec des eaux saumâtres. Symposium Sols salés. AISS Erevan.
- PETROSSIAN (G. P.), 1978. — Sodic saline soils of Armenia. UNEP URSS Acad. Sci. Seminar on salinity problems.
- QUIRK (J. P.), 1957. — Effect of electrolyte concentration on soil permeability in irrigated soils. Proc. Intern. conf. Irrig. Drain. 3rd Congress.
- RHOADES (J. D.), *and coll.*, 1976. — Assessing the suitability of water for irrigation. *FAO Soils Bull.* 31.
- RICHARDS (L. A.), 1954. — Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *USDA Agri. and book 60*.
- SAMOILEVA (E. M.), 1979. — Saline soils. Classification and diagnostic. UNEP URSS Acad. Sci. Seminar on Soil salinity.
- SERVANT (J.), 1975. — Contribution à l'étude pédologique des terrains halomorphes. INRA — SES — Montpellier.
- SOIL SCI. SOC. AM., 1971. — Glossary of soil science terms. Madison — Wis. — USA.
- SZABOLCS (I.), 1974. — Salt affected soils in Europe. Res. Inst. S. Sc. Hungarian Acad. Sci. Budapest.
- TOUJAN (S.), 1981. — Sur l'évolution des sols irrigués pour la riziculture (*à paraltre*).
- UNESCO — Gouv. Tunisien — CRUESI 1970. — Recherche et formation en matière d'irrigation avec des eaux salées — 1962-1969 — Tunis et Paris.
- U.S.D.A., Soil Survey Staff., 1979. — Soil taxonomy — US Dept. Agri. Govt. print. Office — Washington — USA.
- U.S.S.R., 1977. — Classification and diagnostic of soils — Kolos — publishers. Moscou.
- VIEILLEFON (J.), 1978. — Comm. pers.