

## Derniers développements de la recherche sur les sols salés

Claude CHEVERRY

*Maître de Conférences (Sciences du sol) E.N.S.A., 65, rue de Saint-Brieuc, 35042 Rennes*

### Introduction

L'intérêt particulier que G. AUBERT a toujours porté aux sols salés et à leur mise en valeur remonte à 1937. C'est en effet l'année où, quittant Versailles, il s'est trouvé confronté au problème concret de la salinisation progressive des sols de la plaine du Chélif, en Algérie : tâche passionnante, dont il devait ensuite passer le relais à BOULAIN. Depuis lors, G. AUBERT joue un grand rôle dans la conception et l'animation des recherches en ce domaine à travers le monde, avec ses amis KOVDA, RICHARDS, SZABOLCS, LAUDELOUT, pour n'en citer que quelques-uns.

Cet intérêt s'est également ressenti dans son enseignement, et ce n'est pas une coïncidence si beaucoup de ses élèves, de nationalités très diverses, ont ensuite axé leurs propres recherches dans cette direction. Je vais tenter de synthétiser ces travaux, en montrant comment ils ont contribué à ouvrir des voies d'avenir.

Cet avenir verra, me semble-t-il, une grande place accordée à la modélisation. Un pédologue placé devant un sol concerné par la salure ne peut pas en effet se contenter de décrire ce sol. Il lui faut aussi *prévoir comment* le remettre en valeur, ou comment l'empêcher de se saler davantage. Or « la diversité des situations, la rapidité des réponses souhaitées sont telles que seuls les modèles de simulation sur ordinateur pourront prétendre dans l'avenir fournir ces prévisions à un coût minimal » (DUFÉY *et al.* 1979). Trois questions paraissent alors préoccupantes :

— l'eau d'irrigation utilisée percolera-t-elle à travers le sol considéré ?

— dissoudra-t-elle les sels cristallisés du sol au cours de son cheminement ?

— entraînera-t-elle des modifications de la composition du complexe adsorbant des colloïdes du sol, avec les conséquences qui peuvent en résulter sur le comportement physique de ce sol ?

On a là les trois ingrédients, ou « sous-modèles » d'un modèle de simulation :

— un modèle de transfert de l'eau et des solutés. Le mouvement des sels se fait en effet avec la solution du sol par convection, et à travers cette solution par diffusion ;

— un modèle géochimique rendant compte des phénomènes de précipitation, dissolution des sels ;

— un modèle relatif aux phénomènes d'échange sur les argiles.

Grâce à TARDY, FRITZ, DROUBI, DOSO pour l'approche géochimique, à LAUDELOUT, DUFÉY pour les échanges, on dispose désormais de « bonnes munitions ». Michel RIEU, qui contribue beaucoup lui-même à ces approches, détaillera ces points dans son intervention. Je me contenterai pour ma part d'insister sur un point clef : cette ambition de modéliser les phénomènes de salure dans les sols a déjà, et va encore plus dans l'avenir, « dynamiser » les recherches dans toute une série d'autres domaines touchant aux sols salés. Je vais essayer d'illustrer cette idée en montrant le « va-et-vient » que l'on peut envisager entre les modèles de simulation et cinq domaines de recherche, auxquels les anciens élèves de G. AUBERT, et lui-même en premier, ont fortement contribué ces dernières années. J'ai choisi de vous présenter ces cinq domaines dans l'ordre suivant : — les expérimentations de terrain à moyen

ou à long terme; — les mesures effectuées sur le terrain « in situ et en continu »; — les études globales de milieux salés particuliers; — les études de laboratoire; — les approches morphologiques et leurs applications à la classification et à la cartographie des sols.

### 1. LES EXPÉRIMENTATIONS DE TERRAIN A MOYEN OU A LONG TERME

Un exemple est célèbre dans ce domaine, et mérite de l'être : c'est le projet CRUESI, lancé en Tunisie par l'U.N.E.S.C.O., auquel OLLAT et COMBEAU, de l'O.R.S.T.O.M., ont largement contribué, aux côtés de leurs collègues tunisiens. On a pu suivre en cette occasion, de façon très méthodique et sur plusieurs années, l'évolution de la salure des sols et des rendements agricoles, dans divers terrains arrosés avec des eaux assez fortement minéralisées, de 2 à 7 g de sel par litre. En dehors du projet CRUESI, on peut citer la parcelle Ksar Rhilane, étudiée de 1952 à 1968, qui a permis d'observer les résultats de cultures de : fourrages (luzerne en particulier), céréales (orge, blé tendre), coton, cultures maraîchères (BALDY-J. - P. COINTEPAS).

Certes des essais de cette envergure, poursuivis maintenant par le C.R.G.R. tunisien, sont lourds, très coûteux et ils posent le même type de question que les essais de fertilisation de même durée. Mais ils constituent *l'instrument de calage rêvé pour tester la validité des modèles* de simulation et resteront en ce sens irremplaçables.

La Tunisie a d'ailleurs constitué un champ privilégié pour ce type d'expérimentation avec d'autres expérimentations de terrain, plus modestes dans leurs objectifs, mais très axées sur telle ou telle culture : je citerai les travaux de NOVIKOFF sur les palmeraies, d'HAMZA sur les oliveraies, de BELKHODJA sur l'oranger, de M<sup>me</sup> FARAJ (alors M<sup>lle</sup> LARGUÈCHE) sur les eucalyptus. On pourrait aussi évoquer l'Algérie (betteraves), le Maroc (expérimentations mises en place par RUELLAN).

### 2. LES MESURES « IN SITU » ET « EN CONTINU »

Le deuxième exemple de « va-et-vient » entre le modèle de simulation et un autre type d'activité de recherche, ce sont les mesures effectuées « in situ » dans les sols salés. Les américains ont relancé cette mode depuis une quinzaine d'années, en insistant sur les mesures de la résistance du sol. Ce furent d'abord les « salinity sensors » et, plus récemment, une méthode empruntée aux géophysiciens : on plante dans le sol quatre électrodes en ligne, selon la configuration dite de WENNER et on apprécie ainsi la

résistance qu'exerce une couche de sol d'épaisseur donnée au passage du courant électrique.

L'avenir paraît également aux mesures simultanées, *in situ* et en continu, du pH, de l'Eh, de la pression partielle de CO<sub>2</sub>, et de la teneur de la solution du sol en tel ou tel ion (grâce à des électrodes spécifiques). Les sols salés sont souvent suffisamment humides, notamment lorsqu'une nappe est présente à faible profondeur, pour que les conditions de fonctionnement des électrodes soient correctes. Dans ce domaine, l'O.R.S.T.O.M. est en pointe, en particulier grâce aux travaux de LOYER et de SUSINI, en Tunisie et au Sénégal.

Les problèmes techniques posés par de tels dispositifs s'avèrent très délicats : impédance de circuit, étanchéité du système, maintien en état de toutes les électrodes... La garantie du succès est ici une étroite collaboration avec les électroniciens. Mais l'enjeu est de taille puisque ces dispositifs permettent une caractérisation instantanée précise de toute une série de paramètres; ils permettent également de suivre leur évolution saisonnière, et de tenter des bilans, pour le sodium par exemple (électrodes en place dans les réseaux de drainage).

L'intérêt pour la modélisation est évident : les modèles géochimiques actuels s'appuient fréquemment sur des données de pH, de Eh, de P<sub>CO2</sub> arbitraires, ou mesurées dans d'autres milieux naturels. Ces mesures *in situ* et en continu constitueront des données d'entrée bien meilleures.

### 3. LES ÉTUDES GLOBALES DE CERTAINS MILIEUX SALÉS

Ces études prennent en compte des paysages salés *bien délimités géographiquement*, par exemple les mangroves de Casamance (VIEILLEFON), celles du Siné Saloun (MARIUS), les polders du lac Tchad (CHEVERRY), les plages de salure des plateaux algériens (POUGET). On applique au milieu choisi tout un faisceau de démarches différentes, depuis la morphologie jusqu'aux méthodes géochimiques fines (isotopes, géochimie organique...) en passant par la minéralogie des argiles et la physico-chimie traditionnelle. Ces études correspondent à un suivi dans le temps très régulier, sur plusieurs années consécutives : la notion de chronoséquence est souvent associée à celle de toposéquence.

C'est ici la patience, et l'aspect convergent de toutes les méthodes mises en œuvre, dont certaines très éloignées des préoccupations habituelles des spécialistes des sols salés, qui permettent d'arriver à un certain niveau de compréhension de la genèse et du fonctionnement actuel de ces paysages. A certaines phases de ces travaux de longue haleine,

l'intérêt agronomique peut ne pas paraître évident. On constate pourtant que les « retombées agronomiques » sont au bout du chemin très réelles. J'en prendrai un exemple récent, celui du Sénégal. A la suite de la sécheresse de ces dernières années, la riziculture de mangrove a considérablement diminué et le gouvernement a dû prendre des mesures d'urgence, et de grande ampleur. Si un pédologue O.R.S.T.O.M. comme MARIUS a pu jouer l'an dernier un rôle important dans la conception de ce plan d'urgence, c'est grâce aux études « globales » menées précédemment par VIEILLEFON et par lui-même.

#### 4. LES ÉTUDES DE LABORATOIRE

Il faut d'abord rappeler un point concret : les déterminations analytiques effectuées sur des échantillons de sols salés restent, aujourd'hui encore, délicates. Apprécier la part respective du calcium, du magnésium et du sodium dits « échangeables » dans un sol simultanément salé, calcaire et gypseux constitue une entreprise périlleuse. Je souligne ici le travail discret mais considérable réalisé au laboratoire O.R.S.T.O.M. de Bondy par les équipes de DABIN et de PINTA, je pense notamment à PELLOUX, BRION, REGAZZI, FILLMANN, et d'autres, passant des journées à apprécier les interactions entre ions en spectrométrie, à trouver des astuces pour améliorer la détermination des bases échangeables et de la capacité d'échange. Je pense aussi, bien entendu, à tous les chimistes des laboratoires d'outre-mer, qui ont réussi à nous donner de bons résultats, dans des conditions difficiles.

J'ai choisi, pour rendre compte des développements récents des recherches en laboratoire sur les sols salés, de me limiter à quatre idées. Je n'ai donc pas la prétention d'être exhaustif.

La première, c'est que *les colonnes de sol* restent un bon outil d'étude des mécanismes de la salinisation, pour peu que les expériences soient conçues astucieusement (1) : je pense à la série de thèses menées sous la direction de DABIN : celles de MASSOUMI, KOUHESTANI, JABER, UL HACQ et à toutes les informations qu'elles nous ont apportées sur le rôle de la composition ionique des solutions, de la superposition d'horizons de texture différente, etc.

Les deux idées suivantes résultent d'un examen critique des modèles de simulation actuels. On constate d'abord que *le rôle de la matière organique* sur les phénomènes de salure est pratiquement ignoré dans ces modèles. Or ce rôle n'est pas négli-

geable, comme le montrent les travaux récents de VIEILLEFON puis MARIUS et FELLER sur les mangroves, de M<sup>me</sup> DUPUIS et de CHEVERRY sur les sédiments organiques du lac Tchad, et surtout de GALLALI (Tunisie).

On constate ensuite, et c'est une autre caractéristique des modèles, que l'approche géochimique est essentiellement basée sur des considérations d'ordre thermodynamique. Or des études expérimentales *d'ordre cinétique*, notamment celles de DELMAS, de l'I.N.R.A., montrent que les phénomènes de dissolution-précipitation des sels sont en fait très complexes. Il faudra donc que les pédologues des sols salés aillent bientôt « regarder de ce côté-là ».

La quatrième et dernière idée relative aux perspectives des recherches en laboratoire me servira d'introduction à la rubrique « morphologie des sols ».

#### 5. LA MORPHOLOGIE DES SOLS SALÉS

##### Problèmes de classification, de cartographie

Cette quatrième idée peut s'exprimer ainsi : je crois beaucoup à l'avenir des recherches sur *l'organisation morphologique des argiles*, à l'étude du rôle de la nature minéralogique de ces argiles, de leur garniture cationique, de leur histoire hydrique et énergétique sur les modalités de cette organisation. Cela suppose de travailler à des échelles d'observation et de mesure fines et je pense ici à la voie que nous ouvre TESSIER de l'équipe PEDRO (I.N.R.A.).

Les futurs sols salés du monde, et il y en aura malheureusement, seront en effet fréquemment des sols de plaines, de vallées, que l'on irriguera grâce à de grands travaux d'hydraulique. Pour se limiter à l'Afrique francophone, pensons à l'aménagement proche des vallées des fleuves Sénégal et Niger. Or ces sols ont souvent une texture fine : le danger le plus grave qui les menace n'est pas la salinisation, mais les conséquences physiques (dégradation de la structure) de l'alcalinisation, qui risque de suivre la dé-salinisation.

On rejoint là la grande leçon que G. AUBERT nous a inculquée à tous : l'étude morphologique des sols salés est un merveilleux outil de compréhension de la genèse de ces sols, de leur fonctionnement actuel, donc un outil pour leur mise en valeur. Cela a été la grande force des pédologues de l'école AUBERT et de leurs amis. Je citerai quelques noms : l'équipe animée par ROEDERER, puis COINTEPAS, en Tunisie,

(1) Certaines peuvent être même faites *in situ* : travaux de l'A.C.C. - O.R.S.T.O.M., Grenoble, au Djebel Dissa en Tunisie.

avec MORI, SOURDAT, BUREAU, PONTANIER, FOURNET et leurs collègues tunisiens SOUSSI, BELKODJA, HAMZA et d'autres, qui ont pris le relais. POUGET, MECHAÏ en Algérie, RUELLAN, M<sup>me</sup> FARAJ au Maroc, DUBOIS, VIEILLEFON, MARIUS au Sénégal, PIAS, BOCQUIER, CHEVERRY, RIEU au Tchad, BOUTEYRE, TOUJAN, SERVANT...

La liste des personnes et des pays est impressionnante, et pourtant probablement incomplète.

Mais, et cela n'est qu'apparemment un paradoxe, il nous faudra encore beaucoup travailler en ce domaine : l'analyse pédologique chère à BOCQUIER est encore balbutiante en matière de sols salés. Il nous faudra observer encore, avec plus de précision, la forme des cristaux de sels, leur relation avec la porosité, les relations entre les cristaux de sels différents... Nous en « tirons » probablement des leçons sur la chronologie de précipitation de ces sels, sur leur aptitude à être effectivement dissous, etc.

A la clef, il y a aussi, vous vous en doutez, les problèmes de classification et de cartographie des sols salés. Vous connaissez la force avec laquelle G. AUBERT défend le rôle de la morphologie dans la classification des sols salés, à partir notamment de la notion de sols à structure dégradée.

Quant à la cartographie, comment mieux synthétiser le rôle international de G. AUBERT qu'en

présentant la carte à 1/5.000.000<sup>e</sup> des sols salés d'Afrique, dont la réalisation lui a été confiée par l'Association Internationale de Science du Sol et l'U.N.E.S.C.O. ? On y trouve l'illustration d'un certain nombre des idées chères à son responsable : — la prise en compte des sols à alcalis, largement représentés en Afrique et dont les propriétés morphologiques conditionnent la mise en valeur; — la prise en compte des sols de mangroves; — la prise en compte des zones à risque de salure, le delta du Niger par exemple; — et enfin la cartographie des zones à présence de sols salés, et pas seulement celle des zones à prédominance des sols salés, le pourcentage étant d'ailleurs indiqué.

Pour terminer cette évocation, peut-être un peu disparate, des travaux récents de l'« École AUBERT » sur les sols salés, et de leur « accrochage » très réel aux perspectives d'avenir, de modélisation, je me permettrai une anecdote personnelle, en hommage à celui qui nous a formés. Lors de notre année de formation à l'O.R.S.T.O.M., le premier solonchak dont G. AUBERT nous a fait découvrir avec enthousiasme les caractères morphologiques était localisé... dans la région de Nancy, à cinquante mètres d'une usine. Certes, c'était inattendu, mais un des charmes des tournées avec lui, c'est précisément que l'on peut s'attendre à « savourer » dans la même journée, des sols très divers, l'art gothique d'une église découverte au passage, ou bien... le bon vin local !