

A. RUELLAN

LES SOLS SALÉS ET ALCALISÉS DE LA PLAINE DU ZEBRA

Les sols de la Plaine du Zebra (Basse Moulouya) appartiennent essentiellement à deux grandes classes :

- la classe des sols steppiques isohumiques ;
- la classe des sols calcimorphes.

Les sols steppiques sont presque toujours des sols brun-rouges (présence en profondeur d'un horizon rubéfié, d'accumulation du calcaire sous forme de taches, et d'argile) ; les sols calcimorphes sont des sols bruns calcaires sur croûtes d'épaisseur et puissance variables.

Mais ce qui caractérise essentiellement les sols de cette plaine, est la présence très fréquente en profondeur, à partir de 30-40 cm ou plus, d'assez fortes quantités de sels solubles, les horizons salés étant, d'autre part, en général alcalisés. Ces caractères qui, du point de vue pédologique, ne peuvent intervenir dans la classification qu'au niveau de la famille puisqu'il s'agit, comme nous le verrons, de caractères des roches-mères des sols observés actuellement, sont naturellement dominants du point de vue agronomique : ces sols sont-ils irrigables ? Comment peut-on les améliorer ? Il n'est cependant pas dans notre intention d'aborder ici ces problèmes de mise en valeur. Nous voulons seulement présenter les caractères pédologiques assez particuliers des différents types de sols affectés par la salure et essayer de donner une interprétation de leur pédogénèse.

**

En gros, la salure et l'alcalisation affectent trois types de sols :

- les sols brun-rouges steppiques à taches sur roche-mère assez peu argileuse, développés sur les terrasses soltaniennes de l'oued Zebra ;
- les sols brun-rouges steppiques à taches sur roche-mère complexe, Soltanien sur Amirien, les limons amiriens étant fortement argileux ;
- les sols bruns calcaires sur croûte.

**

Les sols brun-rouges steppiques à taches sur roche-mère soltaniennes présentent leur horizon d'accumulation en moyenne entre 25 et 70 cm de profondeur. L'accumulation du calcaire n'est pas très forte (15-20 % de $\text{CO}_3 \text{ Ca}$ total en surface ; 20-30 % à 50 cm de profondeur ; 15-25 % dans la roche-mère) mais les taches calcaires sont nombreuses, bien individualisées, souvent granulaires. Au contraire, la rubéfaction est forte, dès 25 cm de profondeur ; cependant il s'agit surtout d'une rubéfaction de roche-mère, l'horizon d'accumu-

lation n'étant pas très nettement plus rubéfié que le limon soltanien situé en profondeur. Enfin l'accumulation d'argile (lessivage ou néoformation) est nette : 15 à 20 % en surface, 30 à 35 % vers 50 cm de profondeur, la roche-mère soltanienne n'ayant que 20 à 30 % d'argile.

C'est au niveau de l'accumulation du calcaire et de l'argile qu'apparaissent la salure et l'alcalisation ; cependant ce n'est qu'à la base de ce niveau, donc vers 50-60 cm de profondeur qu'elles deviennent très fortes : 3 à 6 g/kg de sels totaux, dont 2 à 5 gr. de chlorure de sodium ; le pH à l'eau après lessivage des sels est de 8,8 à 9,3 ; le pH au chlorure de potassium de 7,7 à 8,3. Notons que très souvent les pH présentent un léger maximum à la base du niveau d'accumulation.

L'apparition des taches calcaires, l'accumulation de l'argile, le début de l'alcalisation et de l'augmentation de la salure, s'accompagnent de l'apparition d'une structure très particulière et qui n'est pas une structure de roche-mère puisqu'elle redisparaît en profondeur. Il s'agit d'une structure finement polyédrique à cubique (0,2 à 3 cm), avec surstructure lamellaire, feuilletée, les petits polyèdres assez durs, présentant un grand nombre de facettes lissées, brillantes, souvent distordues, concaves ou convexes. Nous aurons à reparler de ce type de structure ; notons simplement pour l'instant qu'elle est très instable : les indices de stabilité structurale I_s (1) sont très forts et quand la pluie tombe sur les tas de terre formés à côté des trous des profils, les petits polyèdres se dispersent entièrement sur 0,5 à 1 cm d'épaisseur, une croûte lamellaire se forme, des fentes de dessiccation apparaissent et, sous la croûte, les polyèdres sont cimentés entre eux sur 1 à 2 cm. Notons d'ailleurs que lorsque c'est la roche-mère du fond du trou qui forme la surface du tas, il y a également dispersion et formation d'une croûte dès les premières pluies, mais le phénomène est moins intense.

L'accumulation sous forme de taches calcaires très bien individualisées et très nombreuses sans augmentation très forte du calcaire total, l'argilification forte et même quelquefois l'individualisation de poches d'argile, la structure feuilletée et peut-être cette structure polyèdre-cubique fine à facettes lissées, l'alcalisation un peu plus forte de l'horizon d'accumulation, tous ces caractères nous font penser que l'hydromorphie, probablement d'engorgement, est en partie à l'origine de ces sols. Nous pensons que ces sols ont subi l'évolution suivante : sur une roche-mère limoneuse, salée et alcalisée, probablement déjà rouge lors de son dépôt ou ayant déjà subi une première évolution pédologique rubéfiante et alors probablement décalcarifiante, c'est la steppisation qui a d'abord agi (après récalcarification probable) : il y a eu reprise ou accentuation du lessivage du calcaire, accumulation de ce calcaire, argilification en profondeur, lessivage des sels. L'argilification dans un limon alcalisé a donné naissance à un horizon imperméable où l'hydromorphie a pu jouer, probablement par engorgement lors des fortes pluies : l'argile s'est encore accumulée, s'est localisée sous forme de poches, et surtout les taches calcaires se sont bien individualisées ; en surface le sol s'est recalcarifié, la structure feuilletée s'est formée.

(1) Méthode HENIN

$$I_s = \frac{\text{(argile + limons) maximum \%}}{\text{Moyenne des agrégats grossiers \%} - 0,9 \text{ (sables grossiers) \%}}$$

La moyenne des agrégats grossiers est la moyenne des agrégats inférieurs à 2 mm, stables :

- sans prétraitement ;
- après prétraitement à l'alcool ;
- après prétraitement au benzène.

C'est peut-être pendant cette hydromorphie qu'a pris naissance la structure polyédrique à cubique fine à facettes lissées ; mais nous croyons plutôt que c'est après, quand le climat est devenu moins pluvieux et que l'horizon d'accumulation fut soumis à des alternatives d'humectation faible et de dessiccation, que s'est créée cette structure. La perméabilité, qui se maintient tant qu'il n'y a pas suffisamment d'eau pour disperser les petits agrégats, a augmenté et la steppisation a pu reprendre.



Dans les sols brun-rouges steppiques à taches sur roche-mère complexe, l'horizon d'accumulation du calcaire et de l'argile débute à peu près à la limite des deux limons : c'est le sommet du limon amirien qui contient les taches calcaires et c'est l'ensemble du dépôt amirien qui est argileux. Cependant ces sols ayant continué à évoluer après le dépôt du limon soltanien et l'épaisseur du limon soltanien étant variable (de 10 à 60 cm : lorsqu'il est plus épais, on passe à des sols brun-rouge à taches non salés, le niveau à taches calcaires du limon soltanien s'individualisant nettement par rapport à celui du limon amirien), ces sols sont dans le détail assez variés ; quand le limon soltanien est suffisamment épais, d'une quarantaine de centimètres, les taches calcaires et l'argilification commencent dans ce limon soltanien ; ceci est dû à la fois au mélange entre les deux limons et à la pédogénèse postérieure au dépôt soltanien.

Comme dans le type de sol précédent l'accumulation du calcaire se fait sous forme de taches nombreuses mais souvent assez mal individualisées, jaunâtres, aux limites diffuses. Cette accumulation est maximale au sommet du limon amirien ; elle peut atteindre 40 % de $\text{CO}_3 \text{Ca}$ total (latéralement, sur les pentes, dans les zones qui furent moins érodées, l'horizon à taches devient encroûtement puis croûte calcaire tensiffienne). La rubéfaction commence toujours dans le limon soltanien : d'une façon générale on peut affirmer que la rubéfaction en profondeur des sols brun-rouges de la Plaine du Zebra est en réalité essentiellement une « dérubéfaction » des horizons de surface ; une paléopédogénèse a donné naissance aux sols rouges soltaniens, mais depuis, la rubéfaction des horizons de profondeur a été faible. Cette rubéfaction s'accroît quand on passe au limon amirien qui est rouge sombre sous l'horizon à taches calcaires. Enfin l'accumulation d'argile est nette et forte ; elle commence dans le limon soltanien et peut atteindre 50 % au sommet du limon amirien, la somme argile + limons pouvant alors dépasser 80 % ; en profondeur les limons amiriens restent très argileux (40 % en moyenne).

La salure et l'alcalisation commencent au sommet du limon amirien et s'accroissent avec la profondeur. C'est donc comme pour le type de sol précédent, une salure et une alcalisation de roche-mère, ici du limon amirien, les pédogénèses récentes ayant eu tendance à lessiver les sels et à désalcaliser. Les taux de salure et les pH sont du même ordre que pour le type de sol précédent ; cependant il est fréquent de trouver en profondeur, vers 1 m ou plus, un limon villafranchien très gypseux. Il en résulte que les sels du limon amirien sont souvent assez riches en sulfates, ce qui entraîne une diminution des pH mettant en évidence l'action désalcalisante du sulfate de calcium.

Comme dans le type de sol précédent, le début de l'horizon d'accumulation s'accompagne de l'apparition de cette structure fine polyédrique à cubique à faces lissées. Mais dans le type de sol présent, cette structure ne disparaît pas en profondeur ; bien au contraire, elle s'intensifie et une surstructure prismatique plus ou moins bien marquée prend naissance : le limon est alors très rouge sombre avec quelques taches calcaires ; il est souvent luisant avec des reflets verdâtres. C'est donc la roche-mère amirienne qui possède cette struc-

ture, probablement due, d'ailleurs, à une évolution pédologique très ancienne. Nous avons déjà dit que cette structure est extrêmement instable : les Is sont torts, les tas de terre s'encroûtent dès la première pluie. Si on amène ce limon à saturation, durant la dessiccation, cette structure ne réapparaît pas : le limon est entièrement dispersé et on obtient de véritables briques avec grandes fentes de dessiccation. Cependant, si on se contente de mettre un agrégat dans de l'eau sans agiter, la destruction n'est pas totale : très rapidement, en quelques secondes, l'agrégat se délite en petites plaquettes très nombreuses ; mais les plaquettes elles-mêmes ne se dispersent pas : l'eau reste parfaitement claire ; il faut agiter pour que la dispersion de l'argile se produise. Des premiers essais furent effectués au laboratoire pour connaître la quantité d'eau que devait absorber l'agrégat pour commencer à se détruire. Ces essais furent effectués sur des agrégats suffisamment gros, pesant 3 à 5 gr. Il suffit d'ajouter 25 % d'eau, donc de dépasser légèrement la capacité de rétention pour que la dispersion commence.

Cette structure correspond donc à une dispersion très poussée des éléments argileux. Cependant, il ne semble pas qu'elle soit en étroite relation avec l'alcalisation. La richesse en sels et en calcaire rendant très délicate l'analyse du complexe absorbant, nous avons peu de résultats utilisables dans ce domaine. Mais d'autres observations nous permettent de dire que la dispersion des éléments fins n'est pas toujours due à l'alcalisation : les limons alcalisés soltaniens n'ont pas cette structure ; elle peut exister quand le pH KCl n'est que de 7,7, le pH eau après élimination des sels n'étant que de 8 à 8,5. La présence d'une quantité importante de gypse n'interdit pas cette structure : les limons villafranchiens gypseux ont une structure polyédro-cubique à faces lissées ; enfin cette structure semble parfaitement indépendante des sels et du calcaire : beaucoup de limons très encroûtés ont cette structure. Ne faut-il pas alors penser au magnésium ; les quelques résultats d'analyse du complexe absorbant que nous possédons semblent en effet indiquer qu'il y a beaucoup plus de magnésium sur le complexe absorbant des limons ou des horizons des sols possédant cette structure. Nous avons l'intention de poursuivre quelques recherches dans ce sens.

La pédogénèse de ces sols peut se concevoir comme celle du type précédent, mais répétée plusieurs fois et compliquée par la phase de dépôt des limons soltaniens, précédée probablement par plusieurs phases d'érosion et de dépôt post-amiriennes. La présence de quantités appréciables de magnésium sur le complexe absorbant est un élément en faveur de l'hydromorphie.

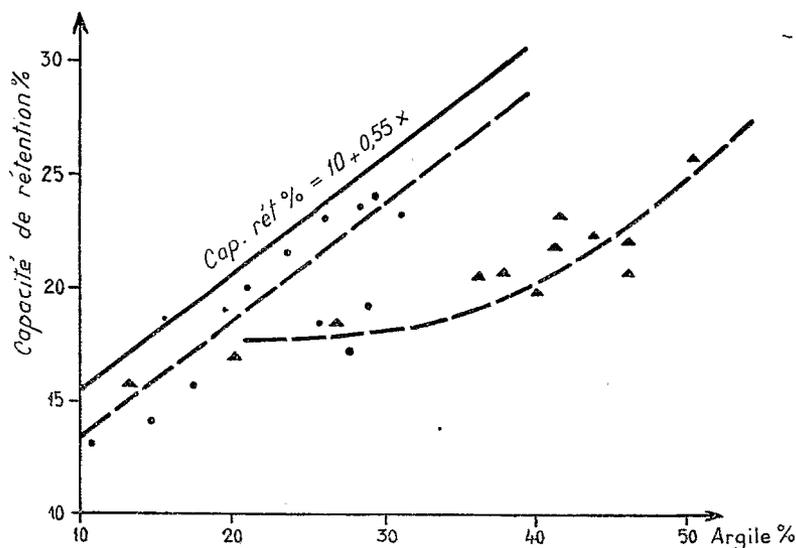
**

Dans les sols bruns calcaires sur croûte et les sols brun-rouges peu épais (40-60 cm) sur encroûtement, ce sont les croûtes et encroûtements, et plus exactement la base des zones encroûtées et les limons sous-jacents amiriens et villafranchiens qui sont salés. Les zones encroûtées sont elles-mêmes rarement ou peu salées. Cependant si la croûte ou l'encroûtement sont fortement altérés ou disloqués (érosion, action des racines, de l'eau, du froid pendant les pluviaux), ils sont alors plus salés et le sol brun calcaire ou brun-rouge est lui-même salé en profondeur : les sels ont pu remonter plus facilement. Par contre les pH sont toujours forts dès la base du sol et ce sont les horizons les plus encroûtés qui sont les plus alcalisés : pH KCl de 8 à 8,5, les pH eau étant de 8,7 à 9, malgré la présence de sels. Il est très probable qu'il y a donc du carbonate de sodium dans ces croûtes. En ce qui concerne la structure polyédro-cubique à facettes lissées, elle apparaît dès que l'on passe, en profondeur, du tuff au limon amirien ou villafranchien encore fortement calcaire.

**

Avant de terminer cet exposé, il nous faut rapidement signaler le comportement curieux de la capacité de rétention des sols de la Plaine du Zebra. D'une façon générale, les horizons de tous les sols de la plaine ont une stabilité structurale faible: Is est toujours supérieur à 2 et varie de 10 à 100 dans les horizons alcalisés et dans ceux qui possèdent la structure polyédro-cubique à facettes lissées. Or nous avons constaté que, presque toujours, la capacité de rétention était faible par rapport à ce que l'on peut calculer par la formule approchée de M. AUBERT : $\text{Cap. de Rét. \%} = 10 + 0,55 \times$, \times étant le pourcentage d'argile.

Capacité de rétention en fonction de la richesse en argile et de la structure



- Structure n°1 polyédrique large ou fondue
- ▲ Structure n°2 polyédro-cubique à facettes lissées

Sur la figure ci-dessus nous avons reporté les capacités de rétention trouvées, en fonction de la richesse en argile, et nous avons cru pouvoir tracer une droite et une courbe. La droite située parallèlement, mais en dessous de la droite théorique, groupe les points correspondant aux horizons ayant une structure polyédrique large, ou fondue, relativement stable; on trouve également le long de cette droite certains horizons à structure polyédro-cubique à facettes lissées, très instable, mais ils sont alors peu argileux. Donc quand la structure est à peu près stable ou lorsque les horizons ne sont pas trop argileux (moins de 20 % d'argile), la capacité de rétention est peu diminuée par rapport à la théorie. La courbe, nettement plus inclinée que la droite, groupe les horizons argileux à structure polyédro-cubique à facettes lissées, très instable, et certains horizons à structure polyédrique large mais également très

instable (alcalisation) : une forte instabilité structurale semble donc bien être liée à la diminution du pouvoir rétentif du sol, diminution d'autant plus marquée que le sol est plus argileux ; cependant cette diminution n'est pas directement proportionnelle à l'augmentation de l'argile ; le fait que nous ayons une courbe montre qu'elle devient de moins en moins forte quand les sols deviennent de plus en plus argileux. D'autre part, elle n'apparaît qu'au-dessus d'un pourcentage minimal d'argile d'environ 20 %.

Nous pensons qu'une des raisons essentielles de cette faible capacité de rétention est l'existence des petites plaquettes d'argile qui ne se dispersent qu'après une forte agitation. Par les méthodes habituelles de mesure, c'est la capacité de rétention d'eau entre les plaquettes que l'on obtient.