

WORLD ACADEMY  
OF ART AND SCIENCE



SIMPOSIO INTERNAZIONALE SUI PROBLEMI  
DELLA IRRIGAZIONE CON ACQUE SALSE E  
DELLA DESALINAZIONE DELL'ACQUA MARINA



ROMA  
5 - 8 Septembre 1965

EXPERIMENTATIONS SUR L'AMELIORATION

DES SOLS SALES ET ALCALISES

DE LA PLAINE DU ZEBRA

( M A R O C )

par

A L A I N R U E L L A N

Pédologue, Maître de Recherche O. R. S. T. O. M.

Office de Mise en Valeur Agricole

R A B A T - M A R O C



O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

n° 10243

Située dans le Maroc oriental, au contact du Rif et du Moyen - Atlas, sur la rive gauche de la Moulouya, à 35 km de la Méditerranée, la plaine de l'Oued Zebra fait partie du grand périmètre d'irrigation de la Basse Moulouya qui comportera près de 80.000 hectares de terres irriguées; La plaine du Zebra elle-même sera irriguée sur 10.000 hectares environ .

La plaine du Zebra est un vaste synclinal qui fut, tout au cours du quaternaire, comblé par des alluvions et colluvions généralement argilo-sableuses et presque toujours fortement calcaires. Protégé des influences marines par la petite chaîne rifaine des Kbdama, son climat est de type méditerranéen sub-aride ; il y pleut, pendant l'hiver, 300 mm en moyenne, et la température moyenne annuelle y est de 19° C; cependant, les gels en hiver n'y sont pas exceptionnels et en été, il est fréquent que la température dépasse 40° C. ; il s'agit donc, malgré la proximité de la mer, d'un climat très continental. Enfin, la végétation naturelle qui couvre actuellement cette plaine est une sorte de steppe essentiellement composée d'Armoise (*Artemisia Herba Alba*), de Jujubier (*Ziziphus Lotus*) et de plantes appartenant à la famille des *Salsolacées* .

#### LES SOLS DE LA PLAINE DU ZEBRA

La plaine du Zebra a fait l'objet d'une étude pédologique détaillée, avec carte au 1/20.000° que nous avons levée avec la collaboration de J. L. GEOFFROY et Ch . MASSONI.

Dans le cadre de la classification française (AUBERT, 1962), la très grande majorité des sols de cette plaine sont des sols bruns isohumiques sub-tropicaux, sols plus ou moins anciens en fonction, généralement, de l'âge des dépôts quaternaires sur lesquels ils se sont développés.

Les principales caractéristiques physiques et chimiques de ces sols sont les suivantes :

1<sup>o</sup>) Le calcaire : les sols sont presque tous fortement calcaires dès la surface : il peut y en avoir 10 à 25% dans l'horizon A. Par ailleurs, il y a presque toujours un horizon d'accumulation du calcaire qui commence le plus souvent vers 40-50 cm de profondeur. Mais cet horizon d'accumulation varie énormément d'un type de sol à l'autre : il peut avoir 30 à plus de 150 cm d'épaisseur; sa teneur en calcaire peut aller de 30 à 90%; les formes prises par le calcaire dans cet horizon d'accumulation sont très diverses : taches, granules, nodules, encroûtements, croûtes, dalles.

2<sup>o</sup>) La texture: elle est sablo-argileuse en surface. Mais ces sols présentent presque toujours, à partir de 30-40 cm de profondeur et jusque vers 100 - 120 cm, un horizon nettement plus argileux et plus rubéfié : dans cet horizon, la teneur en argile peut varier de 35 à 55 %. Il s'agit généralement d'illite, de Chlorite, d'un peu de Kaolinite et, localement, d'un peu de Montmorillonite.

3<sup>o</sup>) La matière organique : la teneur en matière organique de ces sols est assez faible, mais elle est répartie profondément (répartition isohumique) : il y en a 2 à 2,5 % en surface 0,5 à 0,7 % à 50 cm de profondeur. Il s'agit d'une matière organique évoluée à rapport carbone sur azote égal ou inférieur à 10 .

4<sup>o</sup>) La structure : polyédrique à nuciforme en surface, polyédrique plus ou moins fine, souvent très fine, en profondeur, dans l'horizon d'accumulation d'argile et de calcaire, la structure de ces sols est très bien développée. Cependant la stabilité structurale est toujours très faible, surtout dans les horizons B : d'après la méthode d'HENIN(1960) les indices d'instabilité sont de 2 à 10 en surface, de 10 à 20 en profondeur.

5<sup>o</sup>) La salure et l'alcalisation : une très grande partie des sols de la plaine du Zebra sont salés et alcalisés. Cependant cette salure et cette alcalisation n'apparaissent presque jamais en surface, mais seulement à partir de 30 - 50 cm de profondeur.

En ce qui concerne tout d'abord la salure, les conductivités des horizons B et C oscillent entre 8 et 25 mmhos : ceci correspond à 3 à 10 o/oo de sels totaux, sels qui sont essentiellement du chlorure de sodium. En surface la conductivité ne dépasse jamais 2 à 3 mmhos.

En ce qui concerne maintenant l'alcalisation :

- On constate d'abord que dès la surface, les sols présentent des p H élevés : p H eau de 8,4 à 8,7 et p H KCl de 7,4 à 7,6 . Cependant malgré ces p H, il n'y a jamais dans les horizons de surface plus de 5 % de sodium sur le complexe adsorbant. Par contre, il y a souvent beaucoup de magnésium : 30 % et plus .

- En profondeur, à partir de 30 - 40 cm, les p H eau sont de 8,5 - 8,6 quand les sols sont salés, mais si la salure est faible ils oscillent entre 9,0 et 9,5 . Les p H K Cl varient de 7,7 à 8,2 . Sur le complexe adsorbant de ces horizons B et C, il y a fréquemment plus de 10 % de sodium: il ne s'agit cependant pas là d'un cas général et il n'est pas rare de constater que pour des p H supérieurs à 9 le complexe adsorbant ne contienne que peu de sodium . Par contre il y a toujours beaucoup de magnésium, de 30 à 60 %

Il est nécessaire enfin de souligner qu'il n'y a actuellement aucune nappe phréatique dans la plaine du Zebra; la salure et l'alcalisation des sols ont donc pour origine soit des pédogénèses anciennes soit les roches - mères alluviales et colluviales qui ont pu se déposer salées et alcalisées .

LES PROBLEMES POSES PAR LA MISE EN  
VALEUR DES SOLS SALES ET ALCALISES DE LA  
PLAINE DU ZEBRA

Les sols de la plaine du Zebra, fortement salés à partir de 40 - 50 cm de profondeur, sont donc également très alcalisés : cependant, il apparaît que cette alcalisation, parfaitement traduite par les p H élevés, n'est pas uniquement due à la présence de sodium sur le complexe adsorbant .

Pour essayer alors de comprendre les causes de cette alcalisation, nous avons procédé en laboratoire à une étude détaillée du complexe adsorbant, de la solution du sol et du calcaire de ces sols. Il ne nous est guère possible, dans ce court article, de donner les détails des essais réalisés et des résultats obtenus. Une partie de ces résultats a d'ailleurs déjà été publiée ( RUELLAN, 1963 et 1964 ). Nous nous contenterons de résumer les conclusions essentielles qui sont les suivantes :

1<sup>o</sup>) L'alcalisation des sols de la plaine du Zebra est due :

- Soit à la présence de faibles quantités de carbonate de magnésium, guère plus de 2 - 3 % ; nous avons pu vérifier à plusieurs reprises que ce facteur à lui seul pouvait facilement expliquer l'existence de p H compris entre 9,0 et 9,5 ;

- Soit à la présence de plus de 10 à 15 % de sodium sur le complexe adsorbant ;

- soit à la présence des deux facteurs .

2<sup>o</sup>) Il semble par contre que la présence de fortes quantités de magnésium sur le complexe adsorbant ne soit nullement responsable de ces p H élevés .

La mise en valeur des sols de la plaine du Zebra, par l'irrigation, pose donc, sur le plan de la salure et de l'alcalisation, un certain nombre de problèmes :

- Premier problème : celui du lessivage des sels qu'il faut éliminer jusqu'à au moins 1 mètre de profondeur. ce dessalage est-il facilement et rapidement réalisable ? Par quelle méthode faut-il procéder ?

- Deuxième problème : ce départ des sels, s'il est trop rapide, plus rapide que la désalcalisation, ne va-t'il pas permettre la dispersion de l'argile alcalisée, la destruction de cette structure très instable, la création d'un horizon imperméable sub-superficiel ? Il faut d'ailleurs préciser que l'alcalisation n'est certainement pas le seul responsable de l'instabilité structurale ; la texture et la matière organique jouent également un rôle important .

- Troisième problème : la désalcalisation est-elle elle-même possible, désalcalisation qui exige à la fois une diminution du taux de sodium sur le complexe adsorbant et une diminution du taux de carbonate de magnésium.

Il est par ailleurs indispensable de vérifier s'il est vraiment nécessaire d'éliminer ce carbonate de magnésium pour obtenir des productions végétales intéressantes, c'est à dire s'il est vraiment nécessaire, en particulier pour améliorer l'assimilation des éléments minéraux, d'abaisser le p H des sols à un chiffre voisin de 8,0 .

- Enfin, quatrième série de problèmes : quels sont les modes d'irrigation, les doses d'irrigation, les amendements, les techniques culturales, les productions végétales qu'il faut appliquer sur ces sols, d'abord pour les améliorer, ensuite pour en retirer la meilleure productivité .

### LES ESSAIS REALISES A LA STATION EXPERIMENTALE DE LA PLAINE DU ZEBRA

Pour étudier et tenter de résoudre l'ensemble de ces problèmes, il a bien entendu été nécessaire de créer une station expérimentale, station qui fonctionne maintenant depuis plus de cinq années. De nombreux résultats ont déjà été obtenus : dans les pages qui vont suivre, après avoir rapidement décrit l'eau utilisée pour les irrigations et les principaux essais réalisés, nous résumerons ces résultats dans le domaine de l'évolution de la salure et de l'alcalisation des sols.

#### A.- L'eau d'irrigation

C'est la Moulouya, grand fleuve marocain, qui est utilisée, grâce à deux barrages, pour irriguer le périmètre de la Basse - Moulouya .

Les principales caractéristiques chimiques de cette eau sont les suivantes:

- Sa salure n'est pas négligeable : elle oscille entre 700 micromhos, minima qu'elle atteint à la fin de l'hiver, et 2000 micromhos, maxima qu'elle atteint à la fin de l'été. Il s'agit donc d'une salure assez forte et nous avons souvent pu constater, dans les zones qui sont déjà irriguées, des accumulations importantes de sels au sommet des billons, jusqu'à 12 o/oo. Et après quelques années d'irrigations si aucune précaution n'est prise, la salure des sols peut atteindre 2 à 4 o/oo sur les 20 à 30 premiers centimètres.

- En ce qui concerne maintenant la composition de cette salure, elle est très favorable pour l'amélioration de sols alcalinisés. En effet, ce qui caractérise avant tout l'eau de la Moulouya c'est sa richesse en cations alcalino-terreux et en anion sulfate. En milliéquivalents, le pourcentage de calcium par rapport à la totalité des cations est le plus souvent voisin de 40 %; il est de 30 % pour le magnésium; et le pourcentage de sulfate par rapport à la totalité des anions varie le plus souvent de 40 à 50 %. La richesse en chlore et sodium est donc toujours assez faible et le Sodium Adsorption Ratio oscille entre 1,0 et 2,5. L'eau de la Moulouya est donc une eau que nous pouvons qualifier de désalcalisante. Pour améliorer les sols de la plaine du Zebra, elle présente cependant un inconvénient : elle est trop riche en magnésium et nous avons pu vérifier par des essais au laboratoire et sur le terrain que son utilisation provoquait une augmentation du magnésium sur le complexe adsorbant des sols.

#### B.- Les essais réalisés

Les principaux essais qui ont déjà été réalisés sur la station expérimentale de la plaine du Zebra, ou qui sont en cours de réalisation, sont les suivants :

1<sup>o</sup>) <sup>des</sup> Dessalage des sols par les deux méthodes suivantes :

- dessalage brutal en apportant en une seule fois une très grosse dose d'irrigation;

- dessalage progressif par lessivage à chaque irrigation.

2<sup>o</sup>) Désalcalisation des sols par les méthodes suivantes :

- utilisation seule de l'eau de la Moulouya ;

- apport de plâtre en surface ;
- apport de plâtre dans l'eau d'irrigation ;
- apport de matière organique sous forme de fumier et d'engrais verts ;
- apport d'acide sulfurique très dilué dans l'eau d'irrigation .

3<sup>o</sup>) Comparaison entre divers modes d'irrigation, et en particulier entre l'irrigation par aspersion et les modes d'irrigation gravitaire quant à leur action sur l'évolution des propriétés physiques et chimiques des sols .

-4<sup>o</sup>) Etudes sur le travail du sol.

5<sup>o</sup>) Enfin diverses cultures sont expérimentées, afin de pouvoir étudier à la fois leurs comportements et leurs influences sur l'évolution des sols. Jusqu'à présent, les cultures suivantes ont été réalisées : coton, betterave sucrière, piment doux (niora), luzerne, trèfle d'Alexandrie, napier, canne à sucre, pomme de terre, tournesol.

L'ensemble de ces essais sont réalisés sur deux des principaux types de sols de la plaine : un sol brun isohumique subtropical profond, à accumulation d'argile très marquée et dans lequel l'accumulation du calcaire se fait sous la forme de taches et granules et ne dose que 25 à 40 % ; un sol brun isohumique subtropical peu profond, dans lequel l'accumulation du calcaire, qui limite la profondeur à partir de 30 - 50 cm, est une carapace calcaire de 30 à 60 cm d'épaisseur, carapace dosant 55 à 90 % de calcaire.

Enfin toutes ces expérimentations ont toujours été précédées et accompagnées de nombreux essais de laboratoire .

C.- Les résultats obtenus dans le domaine du dessalage et de la désalcalisation des sols



## 1<sup>o</sup>) Le dessalage

Il est, dans l'ensemble, facile et rapide à réaliser .

Sur sols profonds, nous avons obtenus les résultats suivants :

- En augmentant, par rapport aux besoins en eau des cultures, les doses d'irrigation de 20 à 30 %, on réalise le dessalage des sols sur plus d'un mètre d'épaisseur en deux ans : la salure s'établit entre 1 et 1,5 o/oo c'est à dire à une conductivité de 1 à 2 mmhos; c'est certainement là la conductivité minima qu'il est possible d'obtenir étant donné la teneur en sels de l'eau d'irrigation .

- Ce résultat peut être obtenu plus rapidement en augmentant les doses d'irrigation de 50 % .

- Il est obtenu immédiatement si on applique en une seule fois une dose d'irrigation de 5000 m<sup>3</sup>/ha .

Sur sols peu profonds, malgré un défoncement préalable de la carapace calcaire, le départ des sels s'est révélé nettement plus lent, surtout pour les horizons encroûtés et pour ceux situés sous la carapace. Ceci n'a rien d'étonnant étant donné que dans ces sols la perméabilité générale est assez faible et que l'eau ne circule rapidement que par les fentes sub-horizontales de la croûte calcaire et les fentes verticales provoquées par le défoncement .

## 2<sup>o</sup>) La désalcalisation

La désalcalisation, c'est à dire la diminution des p H jusqu'à un chiffre voisin de 8,0, s'est bien entendu révélée, étant données les causes de l'alcalisation, beaucoup plus délicate à obtenir.

Il est tout d'abord nécessaire de souligner un point très important: si le dessalage maximum qui a pu être obtenu pour un sol profond est très nettement suffisant pour permettre la culture de la plupart des plantes, même celles qui sont très sensibles aux sels, ce dessalage n'est cependant pas total ; et c'est grâce au maintien d'une légère salure, qui a empêché la dispersion de l'argile et l'imperméabilisation du sous-sol,

qu'un drainage suffisant s'est maintenu, drainage qui a permis à la désalcalisation de s'amorcer après le départ de la plus grande partie des sels .

En ce qui concerne les sols profonds, les résultats que nous avons jusqu'à présent obtenus sont, sous une forme très résumée, les suivants :

a) L'élimination du sodium du complexe adsorbant est facilement réalisable. En étudiant à la fois l'évolution du complexe adsorbant et surtout l'évolution de la composition de l'extrait de saturation, nous avons pu suivre de très près la désalcalisation sodique : sans aucun apport d'amendement; avec des doses d'irrigation majorées de 40 %, on obtient en 18 mois le départ de la presque totalité du sodium jusqu'à plus d'un mètre de profondeur. Cette désalcalisation s'accompagne d'une légère amélioration de la stabilité structurale des horizons profonds argileux . Cependant on constate que, malgré l'élimination du sodium :

- d'une part, les p H des horizons B et C restent élevés : 8,7 à 9,0 ;

- d'autre part, le sodium a été en partie remplacé sur le complexe adsorbant par du magnésium ;

- enfin, la stabilité structurale reste très faible .

b) Les apports de plâtre en surface n'ont à peu près aucune action : il se dissout beaucoup trop lentement .

c) Au laboratoire, des essais de percolation de sols par de l'eau de la Moulouya enrichie en gypse ont montré que :

- la désalcalisation sodique est accélérée : ceci n'a rien d'étonnant ;

- il y a une désorption importante de magnésium : les quantités ~~désorbées~~ sont nettement plus fortes que celles qui peuvent provenir uniquement du complexe adsorbant le gypse provoque donc certainement une dissolution très lente du carbonate de magnésium; à la fin de l'expérience, le p H de l'échantillon de terre est d'ailleurs de 8,6 - 8,7, donc inférieur à celui obtenu après le départ du sodium .

d) Sur le terrain, les apports de gypse dans l'eau d'irrigation ont jusqu'à présent donné des résultats nettement moins significatifs.

Nous avons successivement ajouté à l'eau d'irrigation, 0,3 gr /litre de gypse, puis 0,6 gr/litre, puis 1 gr/litre. Cependant, malgré toutes sortes de précautions, le gypse se dissout très mal et il n'en arrive en réalité sur les parcelles expérimentales que très peu et surtout d'une façon très irrégulière. Il en résulte qu'après quatre années d'essais, les résultats sont très contradictoires :

- Sur certaines parcelles, les p H sont en effet tombés à 8,6 - 8,7, conformément aux essais réalisés au laboratoire, et les rendements des cultures se sont assez sensiblement améliorés ;

- Par contre sur d'autres parcelles aucune différence n'est apparue entre les parcelles témoins et celles irriguées avec de l'eau gypseuse .

De toutes façons . cette méthode ne semble pas être la solution : elle est coûteuse et compliquée pour des améliorations de rendements qui restent médiocres. Nous continuons cependant les essais .

d) Au laboratoire, nous avons également essayé l'acide sulfurique très dilué. Les résultats sont nets : la percolation d'un échantillon de terre alcalisée par de l'eau de la Moulouya à laquelle on ajoute 0,5 ou 0,2 gr/litre d'acide sulfurique provoque une dissolution rapide du carbonate de magnésium et on atteint assez vite des p H de 8,2 - 8,4 qui sont à peu près normaux pour des sols calcaires .

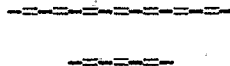
e) Sur le terrain, les essais d'irrigation avec de l'eau contenant 0,2 gr/l. d'acide sulfurique viennent seulement de commencer. Nous n'avons donc aucun résultat à fournir. Il nous semble cependant que l'on peut dès maintenant prévoir que les résultats de cet essai condamneront cette méthode . En effet, l'utilisation de l'acide sulfurique, qui présente de nombreux dangers, revient très cher , et il nous semble peu probable que l'amélioration des rendements des cultures sera telle qu'elle permettra de couvrir les frais. Il faut en effet souligner que les rendements que nous obtenons maintenant ne sont de loin pas négligeables : 15 à 20 quintaux par hectare pour le coton égyptien, 50 à 60 tonnes par hectare ( en vert ) pour la luzerne ; cependant d'autres cultures donnent des résultats médiocres ( betterave sucrière en particulier ) et surtout toutes les cultures donnent encore des résultats très irréguliers .

f) Des apports importants de fumier n'ont jusqu'à présent donné aucun résultat ni dans le domaine des p H, ni dans le domaine des rendements. Mais il est certainement encore trop tôt pour en tirer des conclusions : l'action de la matière organique, si elle existe, ne pourra apparaître qu'à très long terme .

Si le dessalage des sols de la plaine du Zebra ne pose donc pas de problèmes, si par ailleurs l'instabilité structurale n'a pas provoqué après cinq années d'irrigation l'imperméabilisation du sous-sol, il apparaît par contre que la désalcalisation complète est très difficile à obtenir. Mais le problème doit être maintenant posé d'une façon différente : est-il vraiment indispensable de réaliser cette désalcalisation ? D'autres pratiques culturales, tels l'apport de matière organique, d'engrais minéraux en abondance, d'oligo éléments, et le choix d'un assolement bien adapté ne permettraient-ils pas de contre balancer les effets nocifs de ces p H élevés ? C'est dans cette direction que nous voulons maintenant orienter nos recherches.

### RESUME

Les sols de la plaine du Zebra sont salés et alcalisés à partir de 30- 50 cm de profondeur. Le dessalage des sols, sous irrigation, est facilement réalisable. Par contre, l'alcalisation, qui est due à la fois à la présence de sodium sur le complexe adsorbant et à la présence de faibles quantités de carbonate de magnésium, est difficile à éliminer. Grâce à la composition favorable de l'eau d'irrigation, riche en sulfate de calcium, le départ du sodium est rapide. Par contre, la dissolution du carbonate de magnésium, qui est légèrement accélérée par l'apport de plâtre dans l'eau d'irrigation, est très lente, et on n'arrive guère à obtenir des p H inférieurs à 8,6. Seul l'acide sulfurique très dilué permet d'atteindre un p H de 8,2 ; mais c'est une méthode qui semble trop coûteuse. De toutes façons, il n'est pas certain que l'élimination de ce carbonate de magnésium soit indispensable.



B I B L I O G R A P H I E

--:--:--:--:--:--:--:--:--:--:--

- AUBERT G. 1963 "La classification des sols. La classification Pédologique Française". Cahier de Pédologie O.R.S.T.O.M. n°3 Pages 1-7.
- HENIN S. 1960 "Le profil Cultural". 320 p.
- RUELLAN A. 1960 "Les sols salés et alcalisés de la plaine du Zébra" Soc. des Sci. Nat et Phys. du Maroc, trav. Sect. De Pédol, tomes 13-14, pp 157-164.
- RUELLAN A. 1963 "Etude Pédologique de la plaine du Zébra. O.N.I. Maroc 320 p. Ronéo.
- RUELLAN A. 1964 "Les sols salés et alcalisés en profondeur de la plaine du Zébra; premiers résultats d'une expérimentation destinée à étudier leur amélioration et leur évolution sous irrigation" Commun au 8ème Congrès International de la Science du Sol (Bucarest).