

# QUELQUES CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES SOLS DE LA PLAINE DE ZEBRA.

**Leurs répercussions sur les possibilités de mise en valeur.**

par

**A. RUELLAN\***

## AVANT-PROPOS

*Cet article donne les principaux résultats de l'étude des sols de la plaine du Zebra. L'étude intégrale sera publiée ultérieurement dans les Mémoires de l'O.R.S.T.O.M. Qu'il soit permis de remercier ici bien vivement Monsieur le Directeur Général de l'Office National des Irrigations qui a bien voulu autoriser la publication de ce texte.*

La plaine du Zebra, dont l'irrigation est prévue dans le cadre du grand périmètre d'irrigation de la Basse Moulouya, se présente comme une grande zone synclinale bordant l'Oued Moulouya sur sa rive gauche.

Située en moyenne à 35 km de la mer Méditerranée, mais isolée de celle-ci par un petit massif montagneux, la chaîne des Kbdana, cette plaine est en grande partie recouverte par des sols bruns steppiques subtropicaux, plus ou moins évolués et plus ou moins profonds, l'horizon limitant la profondeur étant une forte accumulation de calcaire plus ou moins durcie : encroûtements, croûtes et dalles.

La cartographie des sols, réalisée à l'échelle de 1/20 000, a été effectuée dans le cadre du Bureau de Pédologie de l'Office National des Irrigations, avec la collaboration de MM. J.L. GEOFFROY et C. MASSONI, Pédologues, Chargés de recherches de l'O.R.S.T.O.M. Les méthodes utilisées furent très classiques : sur les 12 500 ha couverts, 1 665 trous de 1,50 m de profondeur ont été creusés et décrits ; sur 1 250 de ces profils, 4 740 échantillons de terre ont été prélevés pour être analysés en laboratoire d'une façon plus ou moins détaillée. Toutes les limites entre les différents types de sols ont été tracées à l'aide de l'observation stéréoscopique de photographies aériennes, ce travail étant réalisé sur le terrain et non au bureau.

La classification pédologique adoptée est la classification française de MM. AUBERT et DUCHAUFOR, légèrement modifiée dans sa présentation afin de mieux faire apparaître certains caractères pédologiques essentiels pour la mise en valeur.

---

\* Pédologue, Maître de recherches de l'O.R.S.T.O.M., Chef du Centre des Expérimentations de l'Office National des Irrigations, Rabat (Maroc).

## LE MILIEU NATUREL

**Le milieu**, ancien et actuel, qui a présidé à la formation des sols de la plaine du Zebra, qui a entraîné leur diversification et qui conditionne leur évolution actuelle, lente mais non arrêtée, est le suivant :

1 - Les formations géologiques qui entourent la plaine sont essentiellement des calcaires, des calcaires dolomitiques, des marnes riches en calcaire, en éléments fins et en sels, des formations schisteuses. Les apports dans la plaine de calcaire, de magnésium, de sels, d'éléments fins, ont donc toujours été très importants.

2 - La presque totalité des sols de la plaine sont développés sur des formations alluvionnaires et colluvionnaires, mises en place au cours des divers pluviaux du Quaternaire et plus ou moins érodées pendant les inter-pluviaux. Les dépôts dominants sont ceux du Moulouyen, presque toujours recouverts d'une très grosse croûte calcaire, et ceux du Quaternaire moyen (Amirien et Tensiftien) également très souvent encroûtés mais beaucoup moins fortement. Les dépôts plus récents, soltaniens et rharbiens, ne forment le plus souvent qu'une pellicule peu épaisse, mais recouvrant tous les dépôts plus anciens. Tous ces dépôts quaternaires ont entre eux peu de caractères communs ; on peut simplement souligner que :

- leur texture est généralement dominée par les éléments inférieurs à 0,005 mm (argile et limons très fins) ;
- leur teneur en calcaire est très souvent comprise entre 25 et 35 % ;
- ils sont très fréquemment fortement salés et alcalinisés.

3 - **La topographie**, dont les éléments essentiels sont dûs à une forte tectonique datant de la fin du Moulouyen, est dans l'ensemble assez compliquée. Les pentes oscillent le plus souvent entre 1 et 3 %, et toute une partie de la plaine, en particulier au sud de l'Oued Zebra, a une topographie très mouvementée. Cette topographie, très liée dans le détail à l'importance des dépôts et des érosions des périodes pluviales et inter-pluviales, a une grosse influence, par son action sur la situation et l'épaisseur des roches-mères, sur la répartition des types de sols : cette répartition est très hétérogène. L'évolution actuelle de cette topographie, par action du vent et surtout de l'eau, est lente mais non négligeable.

4 - **Le climat** actuel de la plaine du Zebra, connu par les résultats de quelques stations météorologiques et surtout grâce à une étude détaillée de la végétation réalisée par I. PERSOGLIO, se situe, d'après les indices climatiques (EMBERGER, THORNTHWAITE) à la limite du semi-aride et de l'aride, et d'après la végétation dans l'aride. Les données essentielles de ce climat sont :

- une pluviométrie moyenne de 300 mm environ ; cette pluviométrie est très irrégulière d'une année à l'autre et une grande partie est perdue par ruissellement et évaporation ;
- une température moyenne annuelle de 19°C. La variation saisonnière et quotidienne de ces températures est très forte, marquant le caractère continental de ce climat. En hiver, des minima absolus inférieurs à 0°C se produisent tous les ans. En été, les températures atteignent et dépassent souvent 40°C ;
- une variation considérable de l'hygrométrie journalière qui fréquemment passe de 20 % dans la journée à 100 % au cours de la nuit ;
- une très forte évaporation : plus de 2 000 mm par an ;
- des vents presque quotidiens et souvent violents.

5 - L'étude de la **végétation** permet de diviser la plaine en trois grands secteurs.

Un secteur sud, très continental, relativement froid en hiver mais très chaud et très sec en été ; c'est un climat local continental aride "froid", le froid étant atténué par la proximité de la mer.

Un secteur nord, un peu moins continental grâce à une influence marine plus grande, moins froid en hiver mais plus chaud en été, peut-être un peu plus humide. C'est un climat local aride chaud.

Le secteur des glacis moulouyens situés en bordure de la Moulouya, dont le climat se rapproche beaucoup de celui du secteur sud, mais avec une intensité de pluie un peu plus forte.

Les micro-climats ne sont pas seuls à régir la composition floristique de la plaine. Les propriétés physiques et chimiques des sols agissent également, à savoir essentiellement la texture, les propriétés hydriques, le calcaire et la salure. Cette dernière, n'apparaissant qu'en profondeur, n'agit que sur la répartition des plantes vivaces, buissonnantes et arbustives.

**6 - L'eau de la Moulouya**, qui doit être utilisée pour irriguer la plaine du Zebra, présente les caractéristiques suivantes :

- une salure totale variant de 350-500 mg/l, minima atteint en hiver, à 900-1 300 mg/l, maxima atteint au début de l'automne. Dans le détail cette variation de la salure, très liée à la localisation et à l'importance de la pluviométrie dans l'ensemble du bassin de la Moulouya, est très irrégulière ;
- une composition où dominent les cations alcalino-terreux, calcium et magnésium, et les anions sulfate et carbonate. Cette composition est assez constante tout au cours de l'année.

L'eau de la Moulouya ne présente donc aucun danger sur le plan de son action sur le complexe adsorbant des sols. Bien au contraire, elle facilitera beaucoup l'amélioration des sols alcalinisés en profondeur, très fréquents dans la plaine du Zebra. Par contre, sa salure totale est suffisamment élevée pour provoquer, sous le climat aride et chaud de la région, une forte accumulation de sels dans les sols, surtout en surface. Il sera indispensable de lutter contre cette accumulation, la meilleure méthode semblant être le lessivage annuel.

**7 - La plaine du Zebra**, manquant de ressources en eaux (il n'y a pas de nappe phréatique), est peu habitée. La densité de la commune de Zaïo, qui couvre toute la plaine, n'est que de 26 habitants au km<sup>2</sup>, la très grande majorité de cette population n'étant pas dans la plaine elle-même, mais sur le pourtour où se trouvent les sources.

Malgré cette densité assez faible, l'ensemble de la plaine est cultivé, en sec bien entendu : les sols non défrichés sont rares. La production végétale essentielle, presque unique, est celle des céréales, orge et blé dur, les rendements, toujours très faibles, dépendant étroitement de l'importance et de la répartition de la pluviométrie. La jachère est largement pratiquée. La production animale est essentiellement celle des moutons et des chèvres.

Cette agriculture extensive a profondément modifié la végétation naturelle : les steppes assez denses et à enracinement profond ont été remplacées par une végétation très clairsemée, surtout en été, à enracinement souvent faible. Le sol n'est couvert que 4 à 6 mois tous les deux ans, pendant la culture de céréales qui, elles-mêmes, s'enracinent peu. Il en résulte deux conséquences essentielles :

- une modification de la répartition de la matière organique dans les sols : elle augmente en surface mais diminue en profondeur ;
- une destruction de la structure superficielle, ce qui facilite le développement de l'érosion.

# LES CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES SOLS

En dehors de quelques sols peu évolués d'apport, situés soit au fond de certaines vallées assez profondes, soit sur les très basses terrasses de l'Oued Zebra et de l'un de ses affluents, soit sur des petits cônes de déjection le long des Kibdana, et de quelques sols brun-calcaires très peu profonds sur croûte ou dalle calcaires, la très grande majorité des sols de la plaine du Zebra appartient à la classe des sols steppiques isohumiques, sous-classe des sols à complexe saturé des régions subtropicales. A l'intérieur de cette sous-classe, ils se répartissent en deux groupes :

- celui des sols châtaîns subtropicaux qui couvrent une très faible surface ; ils sont liés à la présence d'une roche-mère non calcaire et très argileuse ;
- celui des sols bruns subtropicaux qui représentent la presque totalité des sols de la plaine.

L'ensemble de ces sols, qui pour la plupart évoluent depuis très longtemps, et qui sont souvent très complexes tant sur le plan des roches-mères que sur celui des pédogénèses successives qui ont présidé à leur formation, ont été regroupés en treize types principaux eux-mêmes répartis en deux grandes catégories :

- les sols profonds qui couvrent 3 974 ha dans la zone cartographiée, dont 3 171 ha dans la zone dominée par le canal principal d'irrigation ;
- les sols peu profonds (moins de 50 cm) sur encroûtement, croûte ou dalle calcaires qui couvrent 7 796 ha dans la zone cartographiée dont 4 766 ha dans la zone dominée.

Les principaux caractères de ces sols sont les suivants :

## 1 - LE CALCAIRE

Mis à part les sols châtaîns et quelques sols bruns peu calcaires en surface, tous les sols sont fortement calcaires dès la surface : 15 à 25 %. Par ailleurs, presque tous les sols présentent en profondeur un horizon d'accumulation du calcaire commençant vers 30-50 cm et pouvant avoir 50 à 100 cm d'épaisseur. Cette accumulation s'accompagne d'un simple blanchiment, ou de l'apparition de taches, granules ou nodules. Dans les sols peu profonds, c'est cette accumulation qui limite la profondeur\* : encroûtements plus ou moins puissants et plus ou moins tuffeux ; croûtes feuilletées plus ou moins durcies et épaisses ; dalles rubannées très dures mais généralement fines et discontinues ; dalles compactes épaisses et très dures ; les taux de calcaire varient alors de 50 à 90 %. Une partie de ce calcaire, en surface comme en profondeur, est du calcaire fin, actif. Pour la cartographie de ces sols peu profonds, les types suivants ont été distingués :

---

\* Une croûte calcaire complète comprend, du haut vers le bas :

- 1 - une dalle rubannée, qui peut avoir quelques millimètres à plusieurs centimètres d'épaisseur. Cette dalle, très riche en calcaire (75 à 85 %) est très dure surtout quand elle est épaisse. Elle est de couleur saumon, avec des filets plus ou moins sombres, quelquefois bien noirs.
- 2 - une dalle compacte, qui peut avoir jusqu'à 20 cm d'épaisseur. Cette dalle, très riche en calcaire (70 - 80 %) est extrêmement dure. Elle est souvent très continue, non brisée. Elle est de couleur saumon. Elle peut être très caillouteuse.
- 3 - une croûte lamellaire, pouvant avoir 1 m et plus d'épaisseur. Cette croûte est constituée par la superposition de feuillets, épais en surface, de plus en plus fins en profondeur. Ces feuillets ne sont pas continus, surtout ceux de surface ; ils sont séparés par des fentes sub-horizontales s'anastomosant entre elles, les fentes étant de plus en plus fines quand on va du haut vers le bas : vers le haut, ces fentes peuvent avoir quelques centimètres d'épaisseur, et être remplies de terre provenant du sol situé au-dessus de la croûte. Le durcissement de la croûte diminue toujours quand on va du haut vers le bas ; elle est souvent très dure sur plusieurs dizaines de centimètres. Quand il n'y a pas de dalle compacte, le feuillet supérieur, qui peut avoir une dizaine de centimètres d'épaisseur est généralement très brisé par des fentes verticales, la dalle rubannée qui le recouvre descendant dans ces fentes. La croûte est très riche en calcaire (70 à 75 %) ; elle est généralement blanche à blanc-crème, avec des taches noires ; quand elle est très durcie, elle a tendance à devenir plus rose. Elle est souvent caillouteuse.

- les sols sur encroûtement : le sol brun-calcaire ou brun steppique repose directement sur un encroûtement ayant généralement 20 à 50 cm d'épaisseur ;
- les sols sur croûte tendre peu épaisse : les sols reposent sur une croûte feuilletée ayant le plus souvent 10 à 25 cm d'épaisseur, cette croûte reposant elle-même sur un encroûtement. L'ensemble croûte plus encroûtement a une épaisseur très variable : 20 à 70 cm. La croûte feuilletée est souvent coiffée par une dalle rubannée, mais cette dalle est toujours fine (2 cm maximum) et est généralement très brisée ;
- les sols sur croûte dure, épaisse, avec dalle épaisse en surface : la croûte feuilletée a alors 60 cm à plus de un mètre d'épaisseur et elle repose sur un encroûtement lui-même très épais (30 à plus de 100 cm). Cette croûte est recouverte, soit d'une dalle rubannée épaisse (jusqu'à 5 cm) et assez continue, soit d'une dalle compacte très dure, très continue, pouvant avoir jusqu'à 20 cm d'épaisseur.

## 2 - LA TEXTURE

La plupart des sols sont plus argileux en profondeur, vers 50-80 cm, qu'en surface : 15 à 25 % en surface, 35 à 45 % en profondeur sur une épaisseur assez variable. Cette argilification s'accompagne toujours d'une rubéfaction. La teneur en sables fins, dans tous les sols, est généralement assez forte : 20 à 40 %. Par contre, la teneur en sables grossiers est faible : moins de 15 %, souvent moins de 10 %.

En dehors des sols peu profonds sur croûtes, les sols sont peu ou non caillouteux, sauf dans la zone nord et nord-est proche des Kibdana. Il faut cependant signaler la présence très fréquente de niveaux caillouteux à l'intérieur des sols, niveaux ayant le plus souvent 5 à 30 cm d'épaisseur.

## 3 - LA STRUCTURE

Glacée et lamellaire en surface sur quelques millimètres d'épaisseur, elle est ensuite polyédrique à nuciforme moyenne, assez faible, puis polyédrique de plus en plus fine et de mieux en mieux formée en profondeur, dans l'horizon d'accumulation d'argile et de calcaire. Plus profondément, dans la roche-mère, elle peut être polyédrique plus ou moins large ou massive.

La stabilité structurale est toujours très faible en surface, dans l'ensemble de l'horizon cultivé :  $I_s$  de 3 à 10. Plus profondément, elle reste faible :  $I_s$  de 2 à 5, et elle peut être très faible quand se développe une structure finement polyédro-cubique à facettes lissées.

## 4 - LA POROSITÉ

Elle est, actuellement avant irrigation, toujours bonne.

---

4 - un encroûtement, qui peut également avoir un mètre et plus d'épaisseur. Dans sa zone supérieure, où il est en transition avec la croûte, il est finement feuilleté, puis il devient assez compact. Les encroûtements sont soit tufeux, soit granulaires et nodulaires. Quand ils sont tufeux, ils passent généralement en profondeur, progressivement, à un limon à taches calcaires ; quand ils sont granulaires et nodulaires, le sommet de l'encroûtement peut être tufeux (tuf entre les granules et les nodules), et ils passent en profondeur, progressivement, à un limon à granules et nodules. Les encroûtements sont généralement blanchâtres au sommet, de plus en plus jaunes, bruns, vers la profondeur. Ils peuvent être assez durs en surface, mais ils ne sont jamais très durs. Les encroûtements très tufeux contiennent 60 à 70 % de calcaire en surface, le taux de calcaire diminuant progressivement avec la profondeur. Les encroûtements granulaires et nodulaires contiennent, mis à part les granules et nodules, 50 à 60 % de calcaire en surface. Les encroûtements peuvent être caillouteux, mais le sont généralement moins que les croûtes.

## **5 - LA CAPACITÉ DE RÉTENTION**

Elle oscille de 20 à 25 % ; elle dépend essentiellement du taux de matière organique.

## **6 - LA DENSITÉ APPARENTE**

Elle est, en général, de 1 à 1,2 en surface ; de 1,3 à 1,5 dans les horizons d'accumulation d'argile.

## **7 - LA PERMÉABILITÉ**

Quand elle est mesurée avec l'eau de la Moulouya, la perméabilité est en général bonne : 5 à 10 cm/heure. Par contre, à l'eau de pluie, elle est très faible.

## **8 - LA MATIÈRE ORGANIQUE**

Bien que pour des sols bruns steppiques situés en climat sub-aride, les taux de matière organique soient assez forts, ils sont, sur le plan agricole plutôt faibles. Caractéristique essentielle des sols steppiques, cette matière organique est répartie profondément : il y en a 2 à 2,5 % en surface, 0,5 à 0,7 % à 50 cm de profondeur. Cette matière organique est très évoluée : c'est un mull à rapport carbone sur azote faible, voisin de 10 en surface, encore plus faible en profondeur.

## **9 - LES ÉLÉMENTS FERTILISANTS**

Presque tous les sols sont pauvres en azote et phosphore, mais riches en potassium. Ils doivent être pauvres en oligo-éléments assimilables.

## **10 - LA CAPACITÉ D'ÉCHANGE**

Les difficultés d'analyses de ce caractère en milieu calcaire et salé, font que les résultats obtenus sont peu nombreux. Elle oscille entre 10 et 20 m<sup>é</sup>q. pour 100 g.

## **11 - LA SALURE ET L'ALCALINISATION**

Une très grande partie des sols de la plaine sont alcalinisés (pH à l'eau supérieur à 9,0) et beaucoup sont fortement salés (plus de 3 ‰ de sels totaux). Mais cette salure et cette alcalinisation ne commencent pas dès la surface : elles n'apparaissent que vers 30-50 cm, quelquefois plus profondément. Il semble par ailleurs que l'alcalinisation soit en partie magnésienne.

La présence de cette salure et de cette alcalinisation constitue un obstacle très grave à la mise en valeur de la plaine du Zebra. En effet, si aucune amélioration n'est possible, elles limiteront beaucoup les cultures que l'on peut penser faire ; et surtout, c'est l'alcalinisation qui est responsable de la mauvaise stabilité structurale des horizons de profondeur riches en argile : une mise en eau sans précaution risque donc de provoquer rapidement la dispersion de l'argile, donc l'imperméabilisation du sous-sol, donc un drainage très défectueux dont les conséquences seraient extrêmement graves.

Une grande partie des sols de la plaine du Zebra ne peut donc être mise en irrigation sans études et expérimentations détaillées préalables. C'est dans cette optique qu'a été commencée en 1960 une série d'essais sur le terrain et au laboratoire et qu'a été mise en route en 1961 une Station Expérimentale d'Amélioration des sols ; il s'agit de résoudre des problèmes de dessalage, de désalcalinisation, de stabilisation de la structure, de maintien des améliorations obtenues, tout ceci par des méthodes économiquement valables, c'est-à-dire rapides, peu coûteuses et permettant une rentabilisation immédiate du périmètre.

Les essais à la station expérimentale ont déjà donné quelques résultats qui permettent un certain optimisme :

- le dessalage est assez rapide, du moins dans les sols profonds ;
- ce dessalage n'a pas, jusqu'à présent, provoqué la destruction de la structure des horizons profonds, ni une diminution de la perméabilité ;
- ceci a permis à la désalcalinisation sodique de se faire en même temps, quoique plus lentement, que le dessalage. Cette désalcalinisation n'est due qu'à l'action de l'eau de la Moulouya, l'apport de gypse en surface n'ayant aucun effet.

Cependant :

- une certaine augmentation de l'instabilité structurale et de la capacité de rétention est un peu inquiétante ;
- par ailleurs, mise à part la luzerne, les cultures essayées (coton, betterave, napier, bersim) donnent des résultats médiocres. En particulier la betterave donne des rendements très faibles avec des racines en très mauvais état ;
- enfin, la désalcalinisation magnésienne est difficile à réaliser.

Mais de toutes façons, il est encore beaucoup trop tôt pour se prononcer définitivement sur l'avenir de ces sols salés et alcalinisés en profondeur, c'est-à-dire, en fin de compte, étant donnée l'importance de la surface couverte par ces sols, de se prononcer sur l'avenir de l'ensemble du périmètre irrigué prévu dans la plaine du Zebra. La destruction de la structure, l'imperméabilisation du sous-sol, si elles doivent se produire, se feront lentement, très progressivement ; par ailleurs les méthodes de lutte contre ces phénomènes, les productions possibles, ne peuvent être mises au point du jour au lendemain. Ce n'est donc que dans plusieurs années que l'on pourra dire si l'irrigation de la plaine du Zebra a un avenir prolongé, s'il est possible d'y installer définitivement une agriculture irriguée intensive et rentable.

## LES POSSIBILITÉS DE MISE EN VALEUR

Mis à part ce préalable à toute mise en valeur qu'est la résolution des problèmes posés par la salure et l'alcalinisation, la création d'un périmètre irrigué dans la plaine du Zebra doit respecter certaines directives qui sont imposées par les conditions du milieu et, en particulier, par les propriétés physiques et chimiques des sols.

1 - Certains travaux d'aménagement doivent être effectués. Ce sont :

- **Le drainage** de la "vallée morte" et de sa prolongation vers l'ouest-sud-ouest. Il est par ailleurs possible que ce drainage soit, à bref délai, nécessaire dans toute la zone sud du périmètre ;
- **Le défoncement** au roter de tous les sols peu profonds sur croûte calcaire tendre peu épaisse. Ce défoncement doit atteindre la profondeur minima de 70 cm, si possible 80 cm ; il doit être aussi serré que possible et croisé : l'idéal serait de réaliser un quadrillage de raies de défoncement espacées de 50 cm ;
- **Le sous-solage** qui doit travailler le sol très profondément (100-120 cm) mais sans bouleverser le profil. Ce travail est à faire sur les sols peu profonds sur encroûte-

ment calcaire, sur les sols peu profonds sur croûte calcaire tendre peu épaisse (après le défoncement), sur les sols châtaîns qui sont très argileux. Comme le défoncement il doit être effectué aussi serré que possible ;

- **L'épierrage** des sols peu profonds sur croûte calcaire tendre peu épaisse : ce travail est à effectuer après le défoncement et il sera nécessaire de le répéter plusieurs fois. Certains sols profonds, en particulier dans la zone nord du périmètre, demanderont également un épierrage, en général léger ;
- **La lutte contre l'érosion**, à l'extérieur et à l'intérieur du périmètre.

Par contre, certains travaux doivent être limités ou même évités :

- le défoncement au roter ne doit être effectué ni dans les sols peu profonds sur croûte calcaire dure épaisse car il est inefficace, ni dans les sols peu profonds sur encroûtement calcaire car il entraîne la remontée vers la surface de morceaux de cet encroûtement. Etant données la salure et l'alcalinisation des horizons profonds, il doit être également évité dans les sols profonds ;
- le labour, très profond, à 70 cm, qui inverse presque complètement le profil du sol, doit être évité partout ;
- l'épierrage des sols peu profonds sur croûte calcaire dure épaisse doit être limité à un simple travail de surface ;
- enfin, le nivellement doit être réduit au strict minimum. L'idéal, dans ces sols de la plaine du Zebra qui présentent presque tous un profil marqué par l'accentuation en profondeur de nombreuses propriétés peu favorables, serait d'éviter tout nivellement.

**2 - Les modes d'irrigation** qui peuvent être utilisés dans la plaine du Zebra, doivent tenir compte des possibilités limitées du nivellement, de la salure assez élevée de l'eau de la Moulouya, de la stabilité structurale très faible de tous les sols, et donc de leur sensibilité à l'action directe de l'eau.

Le mode d'irrigation le plus favorable est donc certainement l'aspersion : elle sera peut-être la seule méthode possible dans certaines zones où le relief est très accentué.

Parmi les méthodes gravitaires :

- pour les cultures fourragères, des méthodes comme le bassin, le calant et la corrugation sont dangereuses. Une méthode en billons plats est expérimentée depuis deux ans à la station expérimentale : elle semble donner de bons résultats ;
- pour les cultures sarclées, il faut essayer d'éliminer la méthode traditionnelle du bassin billonné et la remplacer par la raie. Mais cette dernière doit être améliorée : il faut en particulier que les raies soient aussi étroites que possible et que les billons soient larges et aplatis ;
- pour les céréales et les cultures fourragères demandant peu d'eau, le système actuel de la submersion à partir de rigoles espacées de quelques mètres peut être maintenu ;
- pour les arbres, la meilleure méthode semble celle des raies tracées parallèlement à la ligne d'arbres (1, 2 ou 3 raies de chaque côté suivant l'âge de la plantation). Ce qu'il faut éviter, c'est la cuvette au pied de l'arbre ;
- enfin, pour le dessalage annuel, il semble possible d'utiliser le système des raies plates.

**3 - L'amélioration et la conservation de la fertilité** physique et chimique des sols imposent :

- un travail parfait du sol pour lutter, en particulier, contre la destruction de la structure superficielle : labours fréquents à 35-40 cm suivis d'un griffage encore plus profond pour éviter la formation d'une semelle de labour ; binages très fréquents, si possible, tant que l'on peut entrer dans les cultures, après chaque irrigation, une fois le sol ressuyé mais non encore complètement sec et durci ;

- des apports importants de matière organique, sous forme de fumier et sous forme d'engrais verts. Pour maintenir la stabilité structurale des sols et la perméabilité, pour améliorer l'alimentation des plantes, pour augmenter la capacité de rétention des sols, ces apports sont indispensables ;
- le développement des cultures fourragères, qui apportent elles-mêmes de la matière organique, qui contribuent à l'amélioration de la structure et surtout qui permettent le développement d'un élevage producteur de fumier. Ces cultures fourragères devront être, de préférence à la luzerne seule dont l'enracinement est trop pivotant, des mélanges de graminées et de légumineuses à enracinement fasciculé abondant et profond ;
- des apports importants d'azote et de phosphore, la fumure potassique pouvant être plus limitée ;
- une étude détaillée des problèmes d'alimentation en oligo-éléments qui risquent de se poser à brève échéance.

4 - Mises à part les cultures fourragères indispensables, les cultures possibles sur tous les types de sols en dehors de ceux sur croûte dure très épaisse, cultures qui doivent être résistantes à la fois au calcaire actif, à une certaine salure, à des pH élevés et à un climat très dur, sont :

- le coton, les cultures maraîchères, les cultures céréalières qui sont d'ailleurs indispensables pour fournir la paille nécessaire à la production de fumier ;
- des arbres et arbustes comme l'olivier, l'abricotier et la vigne.

Par contre, bien peu de sols semblent pouvoir convenir à la betterave, et les agrumes sont à proscrire presque partout.

D'autres cultures peuvent être tentées : ricin, tournesol, carthame, canne à sucre, pommier, prunier (pruneaux) sur les sols profonds. Amandier, caroubier, eucalyptus, pin d'Alep sur les sols peu profonds : ces arbres, peu exigeants en eau mais qu'il faudra quand même irriguer un peu peuvent être plantés dans des sols peu profonds sur croûte calcaire dure épaisse, à condition cependant de prendre la précaution de défoncer la croûte à la dynamite. Ces sols peu profonds sur croûte dure très épaisse peuvent également recevoir des prairies permanentes peu exigeantes en eau.

## CONCLUSIONS

L'étude pédologique de la plaine du Zebra, étude qui a tenu compte de tous les autres éléments du milieu naturel, ne peut donc permettre d'envisager la mise en place d'une agriculture irriguée intensive très brillante. En supposant même, ce qui est encore bien incertain, que les problèmes posés par la salure et l'alcalinisation des sous-sols puissent se résoudre assez facilement, d'autres facteurs comme la topographie difficile, la répartition hétérogène des sols, les taux de calcaires presque toujours très élevés, la stabilité structurale toujours très faible, l'importance des surfaces couvertes par les sols peu profonds, compliquent la mise en place d'une agriculture irriguée, diminuent les bénéfices que l'on peut espérer en retirer. C'est ce qui ressort d'une façon évidente de la carte de classement des sols : l'observation de cette carte conduit, si l'on désire rester raisonnable, à limiter à 5 400 ha la surface des zones méritant l'équipement nécessaire à la mise en place d'une agriculture irriguée intensive. Il est par contre possible que certaines zones situées en haut-service soient intéressantes.

## BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT (G.) - La classification des sols. *Cahiers de Pédologie*, O.R.S.T.O.M., 1963, 2, p.1-7.
- BIBERSON (P.) - Essai de classification du quaternaire marin du Maroc Atlantique. *C.R.Soc.Géol. Fr.*, 1958, 3-4, p.67-70.
- CHOUBERT (G.) et FAURE-MURET (A.) - Lexique stratigraphique du Maroc. *Serv.Géol.Maroc, Notes et Mémoires*, 1956, 134, 165 p.
- CHOUBERT (G.) et al. - Essai de classification du quaternaire continental du Maroc. *C.R.Acad. Sc.*, 1956, 243, p.504-506.
- DRESCH (J.) et al. - Aspects de la Géomorphologie du Maroc. *Serv.Géol.Maroc, Notes et Mémoires*, 1952, 96, 159 p.
- DUCHAUFOR (P.) - *Précis de Pédologie*. Paris, 1960, 438 p.
- GEOFFROY (J.L.) - Etude pédologique de la partie nord-ouest de la plaine du Zebra. ORSTOM, Div. Mise en valeur et du G.R. du Ministère de l'Agric. du Maroc, avec carte pédologique au 1/20 000. Doc.ronéot., 1959, 58p.
- GEOFFROY (J.L.) et RUELLAN (A.) - La plaine du Zebra, étude du milieu. ORSTOM, Div. Mise en valeur et du G.R. du Ministère de l'Agric. du Maroc, doc.ronéot., 1959, 36 p.
- HENIN (S.) et al. - Le profil cultural. *Soc. Ed. des Ing. Agric.*, Paris, 1960, 320 p.
- MASSONI (C.) - Etude des sols de la partie ouest de la plaine du Zebra. O.N.I., 1962, 33 p. ronéot., avec carte pédologique et carte de salure au 1/20 000.
- OFFICE NATIONAL DES IRRIGATIONS - Missions de la Basse Moulouya. Rapport sur l'aménagement de la rive gauche de la basse Moulouya. 1962, 500 p., ronéot.
- PERSOGLIO (I.) - Etudes phytosociologiques dans la basse Moulouya (Chap. 5 de la deuxième partie du Rapport sur l'aménagement de la rive gauche de la basse Moulouya). O.N.I., 1962-63.
- RAYNAL (R.) - Plaines et piedmonts du bassin de la Moulouya. *Infram.*, Rabat, 1961, 617 p.
- RUELLAN (A.) - Etude pédologique d'une partie des terrains collectifs de la plaine du Zebra. ORSTOM, Div. de la Mise en valeur et du G.R. du Ministère de l'Agric. du Maroc, avec carte pédologique au 1/5 000, 1959, 92 p., ronéot.
- RUELLAN (A.) - Les sols salés et alcalinisés de la plaine du Zebra. *Soc.Sci.Nat.et Phys. Maroc*, Trav. Sect.Pédologie, 1958-59, 13-14, p.157-164.
- RUELLAN (A.) - Note sur l'expérimentation entreprise sur les sols salés et alcalinisés de la plaine du Zebra. ORSTOM, Div.Mise en valeur et du G.R. du Ministère de l'Agric. du Maroc, 1961, 25 p., ronéot.
- RUELLAN (A.) - Installation, mise en route et programme de la Station expérimentale de la plaine du Zebra. O.N.I., 1961, 11 p., ronéot.
- RUELLAN (A.) - Utilisation de la géomorphologie pour l'étude pédologique au 1/20 000 de la plaine du Zebra (Basse Moulouya). *Rev.Géog. du Maroc*, 1962, 1-2, p.23-30.



Photo n° 1. -

La plaine du Zebra, vue de la chaîne des Kibdana  
(au centre de la photo, le village de Zafo).

Photo n° 2. -

Sol brun steppique subtropical profond.

Horizon très rubéfié, à structure polyédrocubique fine, d'accumulation maxima de l'argile et du calcaire. Taches calcaires très nombreuses. —

Disparition rapide de la rubéfaction, des taches calcaires et de la structure. Diminution du taux d'argile. —

Roche-mère (Soltanien). —





Photo n° 3.-

Sol brun steppique subtropical, sur encroûtement tuffeux.

—  
Sol brun steppique.

—  
Encroûtement tuffeux blanc, légèrement feuilleté en surface. Cet encroûtement est très altéré en surface.

—  
Passage progressif vers un limon tensiftien caillouteux.

Photo n° 4.-

Sol brun-calcaire, sur croûte calcaire tendre peu épaisse, sans dalle rubannée en surface.

Sol brun-calcaire, très caillouteux à la base (morceaux de dalle et de croûte).

Croûte lamellaire blanche

Poche de remplissage terreux.

Encroûtement peu tuffeux, ocre-rose, à taches plus rouges ou plus blanches.

Limon amirien, très rouge, à structure finement polyédro-cubique à facettes lissées. Taches calcaires.



Photo n° 5.-

Sol brun-calcaire, sur croûte calcaire tendre peu épaisse, avec dalle rubannée fine en surface.

—  
—  
Sol brun-calcaire très caillouteux (morceaux de dalle et de croûte).

—  
—  
Croûte lamellaire blanche, très durcie et plus rose au sommet. Le feuillet supérieur est très brisé. Dalle rubannée fine en surface.

—  
—  
Encroûtement tufeux rose, très durci.

—  
—  
Passage progressif vers un limon tensiftien ocre-rose encore très calcaire.

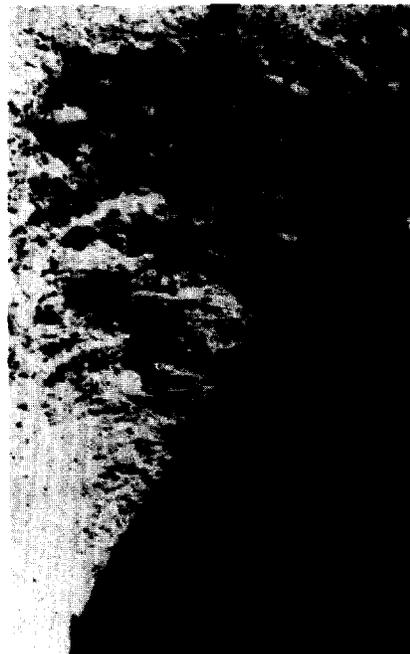


Photo n° 6.-

Sol brun-steppique subtropical, sur croûte calcaire dure très épaisse, avec dalle compacte épaisse en surface.



—  
Sol brun steppique.

—  
Dalle compacte.

—  
Croûte très dure.

Encroûtement tufeux très dur.

(Route Berkane-Zaïa : 1 km après Saf-Saf).

Photo n° 7. -

Coupe de la croûte du Moulouyen inférieur le long  
de l'affluent sud de l'oued Zebra.

Dalle compacte et croûte très dures.

Encroûtement tuffeux et nodulaire.

Cailloutis du Moulouyen inférieur

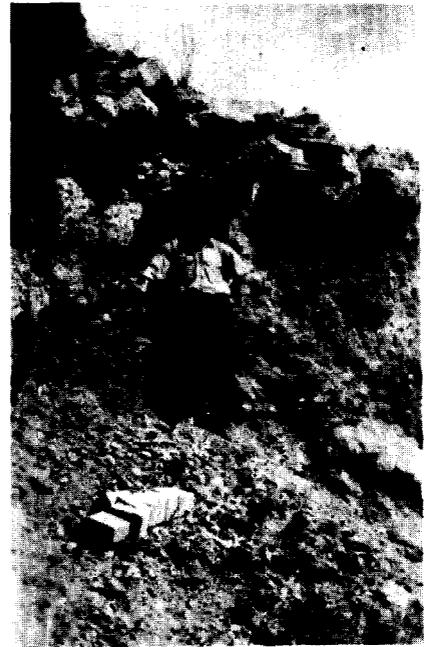


Photo n° 8. -

Etat de la surface d'un sol peu profond sur croûte  
calcaire dure très épaisse avec dalle compacte  
épaisse en surface.

