

**INFILTRABILITE ET ERODIBILITE DE SOLS SALINISES DU  
BAS-CHELIFF MESURES AU LABORATOIRE SOUS  
SIMULATION DE PLUIE**

**INFILTRABILITY AND ERODIBILITY OF SALT AFFECTED  
SOILS OF THE LOW CHELIFF VALLEY (ALGERIA).  
LABORATORY MEASUREMENTS UNDER RAINFALL  
SIMULATION**

**Abdelkader Douaoui, Hamid Bradai**

Université Hassiba Benbouali, Laboratoire Eau-Environnement, BP 225  
Chlef 02000, Algérie. abdouaoui@yahoo.fr

**RESUME**

L'aménagement de la plaine du Bas-Chélif doit assurer une bonne gestion des sols. En effet, 80 à 85 % des sols de cette région sont touchés par des problèmes de salinité. Or les propriétés hydrodynamiques et l'érodibilité de ces sols sont mal connues. Pour pallier ce manque de connaissance, les six principaux types de sols de cette région ont été soumis à une pluie simulée d'une heure à une intensité de 60 mm/h sur des agrégats de 3 à 5 mm de taille, disposés dans des bacs de 1 m<sup>2</sup> présentant une pente de 4 %. Le ruissellement, l'infiltration, le drainage et les transferts de particules ont été mesurés. Les résultats de ces simulations de pluie discriminent bien les sols. Le Fluviosol et le Salisol à sodicité moyenne (ESP de 6 %) présentent une forte infiltration, de l'ordre de 70 à 80 % de la pluie, le Vertisol et le Salisol à sodicité marquée (ESP de 10 %), une infiltration plus faible, de l'ordre de 40 % de la pluie, alors que les Salisols à sodicité élevée (ESP de 16 et 22 %) s'avèrent très sensibles au ruissellement, l'infiltration n'étant que de l'ordre de 15 à 30 % de la pluie. La hiérarchie des sols vis à vis de l'érosion est la même.

**Mots clés : Salinité, sodicité, simulation de pluie.**

**ABSTRACT**

More than 80 % of the soils of the Low Cheliff Valley (Algeria) are affected by salinity. To improve water management and salt removal, hydrodynamics properties and erodibility of the soils have to be studied. Infiltrability and erodibility of the six most representative soils of the Cheliff Valley have been measured. Rainfall simulation has been applied during one hour with 60 mm/h intensity on six soils: one Fluviosol, one Vertisol and four Salisols with

different levels of soil sodicity. Rainfalls have been applied on 3 to 5 mm soil aggregates put in a 1 m<sup>2</sup> tray on a 4 % slope. Runoff, infiltration, drainage and particles transport have been monitored during the simulated rainfalls. Rainfalls allowed a good discrimination of the six soils. The Fluviosol and the Salisol with moderate sodicity (6 % ESP) presented high infiltration rates, about 70 to 80 % of the rainfall; by contrast, the Vertisol and the Salisol with noticeable sodicity (10 % ESP) presented lower infiltration rates, about 40 % of the rainfall, whereas the Salisols with very high sodicity were highly sensitive to runoff, with a low infiltration rates of about 15 to 30 % of the rainfall. The soil ranking was the same for soil erosion.

**Key-words : Salinity, sodicity, rainfall simulation.**

## **INTRODUCTION**

La préservation des sols de la salinisation et la restauration des sols salés requièrent une gestion de l'eau assurant une lixiviation régulière des sels de la solution du sol. Cette gestion de l'eau est difficile dans les sols salinisés et sodisés. Un pourcentage de sodium échangeable élevé entraîne une faible stabilité structurale (Agassi et al., 1981 ; Valzano et al., 2001 ; Vance et al., 2002). Ces sols sont ainsi sensibles aux encroûtements de surface qui favorisent le ruissellement de surface (Rengasamy et Olsson, 1991 ; Crescimanno et al., 1995 ; Mbagwu et Auerswald, 1999 ; Hachicha, 1998 ; Oster et Shainberg, 2001). Une prise en masse du sol peut également réduire fortement l'infiltration de l'eau dans le sol et conduire à une hydromorphie plus ou moins importante du sol selon sa texture et sa position topographique dans le paysage. Les teneurs élevées en sels tendent par ailleurs à augmenter la pression osmotique de la solution du sol, ce qui diminue la capacité de la plante à utiliser l'eau dont elle a besoin, au risque de la soumettre à une sécheresse conditionnée (Halitim, 1988).

L'objectif de ce travail est de quantifier et de comparer l'infiltrabilité et l'érodibilité de différents types de sols de la vallée du Bas-Chéliff, pour hiérarchiser les situations.

## **MATERIEL ET METHODES**

### **Site expérimental**

La plaine du Bas-Chélif, située à 220 km à l'ouest d'Alger, s'étend d'est en ouest sur une cinquantaine de km de long et une superficie de plus de 400 km<sup>2</sup>. Le climat est semi-aride avec une pluviométrie annuelle moyenne de 250 mm répartie essentiellement entre octobre et mars.

Cette plaine est considérée comme une zone à haut potentiel agricole au vue de l'étendue des terres irrigables. Toutefois, 80 % de ces sols sont touchés par la salinité (Douaoui et al., 2006). Cette salinisation s'accompagne le plus souvent d'une augmentation du taux de sodium échangeable (Boulaine, 1957 ; Durand, 1958 ; Daoud, 1993 ; Daoud, 1999 ; Douaoui, 2005), ce qui conduit à des modifications de l'état structural des sols, notamment des couches de surface (Saidi et al., 1999).

Six types de sols représentatifs du Bas-Chélif ont été retenus : un Fluviosol, un Vertisol et quatre Salisols à sodicité croissante (salé-Na1, salé-Na2, salé-Na3, salé-Na4).

Sur chacun de ces six sites, des prélèvements de sol, en volume important, ont été réalisés à la bêche, dans les couches de surface, entre 2 et 20 cm de profondeur.

### **Caractérisation des sols étudiés**

Un échantillon par site, provenant du même prélèvement, séché à l'air et tamisé à 2 mm, a été utilisé pour déterminer les constituants du sol. La texture a été déterminée, après décarbonatation, par sédimentation à la pipette de Robinson. La teneur en matière organique (MO) a été mesurée par analyse du carbone total après oxydation sulfochromique. Le calcaire total (CaCO<sub>3</sub>) a été mesuré par la méthode gazovolumétrique en utilisant le calcimètre de Bernard. Le pH a été mesuré dans une solution du sol de rapport 1 : 2,5. La salinité a été mesurée par la conductivité électrique de l'extrait aqueux de la pâte saturée du sol (CE) à 25°C (USSS Staff, 1954). La sodicité, déduite du taux de sodium échangeable (ESP), a été mesurée par percolation sur colonne après lavage des sels à l'éthanol.

La conductivité hydraulique saturée (Ks) a été déterminée, sur la base de l'équation de Darcy. La stabilité structurale (MWD) a été mesurée à partir de deux des tests proposés par Le Bissonnais (1996).

### **Simulation de pluie**

Après un séchage à l'air du sol, des agrégats de taille comprise entre 3 et 5 mm ont été fabriqués à partir de tamis calibrés : la totalité du sol a été forcée

à travers un tamis de 5 mm ; le surplus recueilli sur un tamis de 3 mm a été conservé. Les agrégats ont été placés dans un bac de 1 m<sup>2</sup> sur une épaisseur de 2,4 cm, posés sur une couche de 1 cm de sables grossiers calibrés (1-2 mm) et une couche de 2 cm de graviers. L'utilisation d'agrégats calibrés permet d'analyser les processus de ruissellement et d'érosion dans des conditions structurales similaires pour les différents types de sols.

Un simulateur IRD (Institut de Recherche et Développement) La simulation a été effectuée en laboratoire sur un bac calibré de 1 m<sup>2</sup> dont la pente est de 4 %. La pluie simulée d'une intensité de 60 mm/h et d'une durée de 60 mn a été appliquée.

Différents paramètres ont été calculés sur chacune des deux pluies simulées : la pluie d'imbibition (Pi), exprimée en mm, correspond à la lame d'eau apportée avant ruissellement ; la lame ruisselée (Lr), mesurée directement, exprimée en mm et en pourcentage de la quantité de pluie apportée ; la lame infiltrée (Inf), estimée par différence entre la lame apportée et la lame ruisselée, exprimée en mm et en pourcentage de la quantité de pluie apportée ; la lame drainée (Dr) mesurée, exprimée en mm ; la variation de stock d'eau dans le sol ( $\Delta S$ ), estimée par différence entre la lame infiltrée et la lame drainée, exprimée en mm ; le ruissellement en régime permanent (Rx), exprimé en mm/h ; l'infiltration en régime permanent (Fn), exprimée en mm/h ; la concentration en particules solides en régime permanent (MS) exprimée en g/l ; le flux cumulé de particules solides pour l'ensemble de la pluie (FCPS), exprimé en g/m<sup>2</sup>.

## **RESULTATS**

### **Caractéristiques physiques et chimiques des sols**

Les caractéristiques physiques et chimiques des sols sont regroupées dans le tableau 1. Les sols sont tous de texture argileuse à argilo-limoneuse. La teneur en MO est faible, comprise entre 11,5 et 21 g.kg<sup>-1</sup>. Selon la classification USSL Staff (1954), la CE indique que le Fluvisol et le Vertisol ne sont pas salins, alors que les quatre autres sols ont une salinité variable, moyenne pour salé-Na2, élevée pour salé-Na1, très élevée pour salé Na3 et Na4. L'ESP présente des faibles valeurs pour les sols non salés. Il dépasse le seuil des 15 % pour les sols salés Na3 et Na4. Le calcaire total présente des valeurs moyennes pour tous les sols. Le pH dépasse la valeur de 7,5 pour tous les sols, ce qui les place dans les sols alcalins. Les tests de stabilité structurale indiquent une bonne stabilité structurale pour le Fluvisol et le sol salé-Na1 (MWD > 1 mm), une stabilité structurale médiocre à faible, du Salisol-Na2 et du Vertisol aux sols salés Na3 et Na4 (tab. 39).

Tableau 1. Caractéristiques des six sols étudiés

	Arg. (%)	Lim. (%)	Sab. (%)	MO g/kg	CE dS/m	ESP %	CaCO <sub>3</sub> %	pH	MWD 1 (mm)	Ks (mm/h)
Fluvisol	46	39	14	19,8	0,9	1,6	21	7,7	2,1	106
Vertisol	55	36	8,5	17,2	1,4	3,4	10	8	0,9	25
Salé-Na1	44	36	19	21,3	10,5	6,3	16	7,8	1,16	56
Salé-Na2	48	40	12	18,0	6,8	9,6	19	8,1	0,97	40
Salé-Na3	48	38	13	16,5	14,5	16	21	8,1	0,555	2
Salé-Na4	50	47	2,3	11,5	20	22	14	8,3	0,45	5

### **Simulation de pluie**

#### **Caractéristiques hydrodynamiques des sols**

La pluie d'imbibition (Pi), volume d'eau infiltré dans le sol avant ruissellement, atteint 32,5 mm pour le Fluvisol, soit plus de la moitié de l'averse totale, alors qu'elle n'est que de 4,2 mm, soit 5 % de l'averse totale pour le sol salé-Na4 (tab. 2). Les pluies d'imbibition du sol salé-Na1, du sol salé-Na2, du Vertisol et du sol salé-Na3 présentent des valeurs intermédiaires, de respectivement 26,5 mm, 14,7 mm, 9,4 mm et 7,3 mm. La pluie d'imbibition, donc le temps de submersion, varie fortement d'un sol à l'autre, dans un rapport proche de un à dix.

Les lames ruisselées et les coefficients de ruissellement augmentent de même, du Fluvisol au Salisol-Na4, en passant progressivement par les sols salés Na1 et Na2, le Vertisol, les sols salés Na3 et Na4, à l'inverse des lames infiltrées et des coefficients d'infiltration (tab. 2).

Alors que la lame drainée augmente avec l'infiltration pour l'ensemble des sols, la quantité d'eau retenue par le sol ( $\Delta S$ ) varie très peu d'un sol à l'autre (tab. 2). La part relative du drainage et de l'eau stockée, parmi l'eau infiltrée, varie donc sensiblement selon les sols. Le drainage représente 70 % de l'infiltration pour le Fluvisol et le sol salé-Na1 alors qu'il représente moins de 10 % pour le sol salé-Na4.

La concentration en particules solides est faible pour le Fluvisol et le sol salé-Na1, avec une moyenne de 10 g/l. Pour le Vertisol et les sols salé-Na3 et sol salé-Na4, cette concentration atteint une moyenne de 18 g/l. Le flux cumulé de particules solides augmente corrélativement au ruissellement (Tab. 2).

Tableau 2. Valeurs caractéristiques de la simulation de pluie

	Pi (mm)	Lr (mm)	Inf (mm)	Dr (mm)	$\Delta S$ (mm)	Ki (%)	Kr (%)	Rx (mm/h)	Fn (mm/h)	MS (g/l)	FCPS g/m <sup>2</sup>
<b>Fluvisol</b>	32,5	12,3	50,7	35,8	14,9	80	20	-	-	11,0	135
<b>Vertisol</b>	9,4	38,3	24,7	12,4	12,3	40	60	52,7	10,3	18,7	716
<b>Salé-Na1</b>	26,5	19,4	43,6	30,9	12,6	69	31	-	-	8,9	173
<b>Salé-Na2</b>	14,7	36,5	26,5	14,2	12,4	42	58	54,5	8,5	13,4	489
<b>Salé-Na3</b>	7,3	45,4	17,6	6,7	10,9	28	72	53,8	9,2	18,5	840
<b>Salé-Na4</b>	4,2	53,4	9,6	0,7	8,9	15	85	58,5	5,5	17,3	924

### Dynamiques des écoulements

On distingue deux groupes de sols (Fig. 1). Un premier groupe, comprenant le Fluvisol et le sol salé-Na1, pour lequel le ruissellement et l'infiltration n'atteignent pas de régime permanent au cours des 60 mn de simulation. Dans ce premier groupe, on observe une longue phase d'imbibition et un drainage important. Un second groupe, comprenant le Vertisol, les sols salés Na2, Na3 et Na4, pour lequel les régimes permanents sont atteints plus ou moins rapidement.

Dans le premier groupe, l'infiltrabilité est supérieure à l'intensité de la pluie durant toute une phase d'imbibition. Cette phase correspond dans un premier temps à une humectation totale du sol, puis partielle, au profit du drainage. Le drainage augmente d'abord rapidement puis plus lentement, plus rapidement sur le sol salé-Na1 que sur le Fluvisol, indiquant une humectation de plus en plus faible du sol. A l'approche d'un régime stationnaire de drainage égal à l'intensité de la pluie, le ruissellement démarre. Dans cette deuxième phase, l'infiltration et le drainage diminuent progressivement au profit du ruissellement. Cette diminution est linéaire pour le Fluvisol, plus abrupte pour le sol salé-Na1. Pour ce dernier, un régime permanent de ruissellement semble s'établir autour de 50 mm/h, valeur légèrement supérieure à la valeur finale atteinte par le Fluvisol, de 44 mm/h. Dans cette phase, l'intensité du drainage diminue avec l'infiltration.

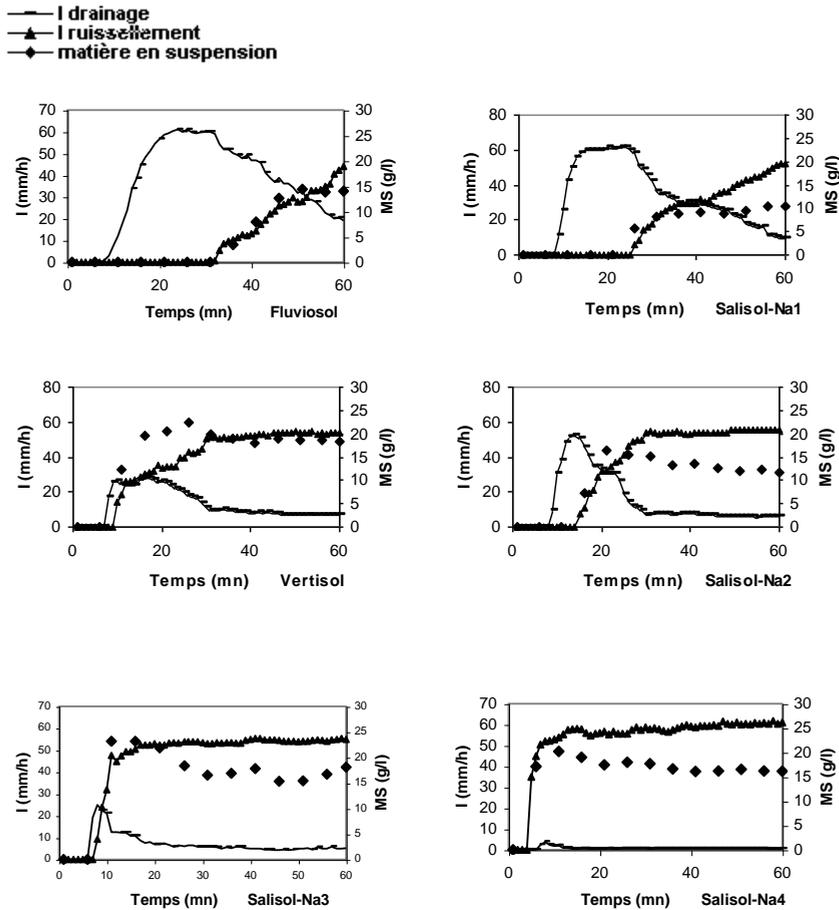


Fig. 1. Dynamique des flux d'eau et des particules lors de la simulation de pluie

Dans le deuxième groupe, la dynamique est la même, mais avec une première phase plus courte, des transitions plus marquées. Le sol salé-Na2 présente la plus longue phase d'imbibition. A la fin de cette phase, le ruissellement croît rapidement, jusqu'à atteindre un régime permanent, très rapidement pour le sol salé-Na4, un peu moins rapidement pour le sol salé-Na2, le Vertisol et le sol salé-Na3. Pour ces trois derniers sols, le drainage apparaît avant le ruissellement, alors que pour le sol salé-Na4, le drainage ne se déclenche qu'après le début du ruissellement et reste très faible tout au long de la simulation.

## DISCUSSIONS

L'influence de la concentration saline et du sodium échangeable sur les propriétés physiques et le ruissellement a fait l'objet de nombreuses études (Sumner, 1993). Leur action simultanée, et souvent opposée, très variable d'un sol à l'autre, ne facilite pas l'évaluation du rôle de ces deux paramètres. Les travaux montrent en général que la concentration saline contribue à améliorer la structure par floculation des argiles, alors que le sodium échangeable contribue à sa dégradation par dispersion des argiles (Benhur et al., 1985 ; Sumner, 1993 ; Oster et Shainberg, 2001). Cette dispersion met en suspension des particules conduisant à la fermeture de la porosité, à une réduction de l'infiltration et une augmentation du ruissellement (Oster and Schroer, 1979 ; Kazman et al., 1983 ; Farres, 1987 ; Römken et al., 2001). Les résultats obtenus ici sont conformes à ces travaux puisque le ruissellement est significativement lié au sodium échangeable. Dans la situation du Bas-Chélif, la forte concentration saline, exprimée par la CE, ne s'oppose pas à l'action défloculante du sodium échangeable, du moins aux salinités présentées ici. Ceci est lié au fait que, dans la région d'étude, l'augmentation de la CE s'accompagne le plus souvent d'une augmentation simultanée du sodium échangeable, comme le montrent ces résultats (Daoud, 1999 ; Douaoui, 2005). Ceci conduit à faire de la salinité, de manière paradoxale, et pour le contexte du Bas-Chélif, un paramètre indicateur de la sensibilité au ruissellement. Ceci est intéressant car c'est un paramètre facile d'accès. Cet indicateur a des limites puisque le sol salé-Na1, avec une CE élevée de 10,5 dS/m et un ESP moyen de 6,3 %, présente un ruissellement faible (31%), comparé aux autres sols (61% en moyenne sur l'ensemble des Salisols). Les lames ruisselées plus élevées, obtenues pour les sols de CE plus faible (sol salé-Na2, Vertisols), sont clairement dues à leur taux de sodium échangeable (sol salé-Na2) ou leur fragilité de structure (Vertisol). Le sodium échangeable apparaît donc bien comme le paramètre explicatif déterminant de la sensibilité au ruissellement.

Ainsi, dans le cas du Bas-Chélif, la forte concentration saline de la solution du sol en sels neutres (chlorures et sulfates) combinée aux proportions élevées en calcaire ont tendance à maintenir la floculation des argiles et la formation d'agrégats. Lorsque la sodicité augmente, les résultats obtenus ici, comme certaines observations de terrain, montrent que ce n'est plus le cas. Certains sols présentent une structure très dégradée. Celle-ci se manifeste à la surface par une structure défloculée poudreuse surmontée parfois par une mince pellicule glacée. Ces sols dénommés par Boulaine (1957) « Solontchak vif défloculés », correspondent aux sols salé-Na3 et salé-Na4 (Douaoui, 2005). Ils sont beaucoup plus fréquents aujourd'hui qu'ils ne l'étaient dans les

années cinquante ; on les retrouve le plus souvent sur des sols anciennement cultivés.

Le comportement des six sols diffère également par la dynamique des écoulements, tant celle du drainage que celle du ruissellement. La figure 2 analyse ces dynamiques et se focalise sur trois paramètres (Darboux et al. 2001) : la quantité d'eau nécessaire pour avoir un drainage, du ruissellement, pour que le ruissellement passe à un régime permanent. On distingue de ce point de vue deux groupes de sol. Le sol salé-Na1 et le Fluvisol supposent une quantité plus importante d'eau pour que le drainage s'instaure et que le ruissellement se déclenche. Le ruissellement n'intervient ainsi que lorsque le sol est fortement humecté. Pour ces deux sols, le déclenchement du ruissellement ne semble pas lié à la désagrégation de la surface liée à l'impact premier des gouttes de pluie, mais aux conditions hydriques, et corrélativement, à une modification des états de surface du sol. Ceci est conforme aux processus décrits dans la littérature : la dégradation de la structure est très dépendante des conditions hydriques du sol.

Le comportement des quatre autres sols diffère des deux premiers par le fait qu'ils présentent une plus faible pluie d'imbibition. Ils sont donc très sensibles au ruissellement même pour des pluies de cumul modéré. Ils diffèrent également des sols du premier groupe par le fait que le drainage est faible, en tout cas bien inférieur à l'apport des pluies, ce qui entraîne un début très rapide du ruissellement, plus précoce que le début du drainage pour le sol salé-Na4. Ce ruissellement précoce est probablement le fait d'une dispersion rapide des agrégats, en surface et dans les premiers centimètres du sol, avant même la réhumectation totale du massif de sol. Il conduit au début à de fortes concentrations en particules solides.

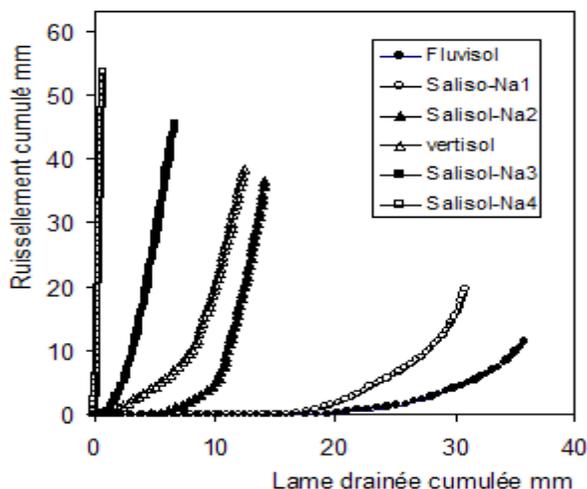


Fig. 2. Lame ruisselée cumulée en fonction de la lame drainée cumulée

## CONCLUSION

Les six types de sol présentent ainsi une sensibilité au ruissellement très différente. Le Fluviosol présente une capacité importante d'infiltration malgré une teneur en argile élevée. Ce type de sol, situé le plus souvent sur pente, permet un bon drainage des eaux. Il est le moins touché par la salinisation. Le sol salé-Na1 présente également une bonne capacité d'infiltration. Certains sols salés peuvent facilement faire l'objet d'une mise en valeur. Ceci est d'autant plus important que ce type de sol correspond à une surface importante du Bas-Chélif. A l'opposé, les sols salé-Na2 et les Vertisols dont les surfaces sont non négligeables dans la plaine, présentent une stabilité structurale modérée et une sensibilité au ruissellement prononcée. Ces sols peuvent faire l'objet d'une valorisation agricole moyennant une gestion rigoureuse de l'eau. Enfin, les sols salé-Na3 et salé-Na4, généralement abandonnés de toute valorisation agricole, possèdent des caractéristiques physico-chimiques et hydrodynamiques très défavorables. Ils devraient faire l'objet d'une cartographie pour les délimiter, afin de les protéger ou d'envisager des aménagements spécifiques.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Benhur, M., Sheinberg, I., Bakker, D. et Keren, R., 1985 Effect of soil texture and CaCO<sub>3</sub> content on water infiltration in crusted soil as related to water salinity. *Irrig. Sci.* 6, 281-294.
- Boulaine J., 1957 - Etude des sols des plaines du Chélif. Thèse d'état de l'Université d'Alger. P 582.
- Bresson, L. M., Cadot, L., 1992 Illuviation and structural crust formation on loamy temperate soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56 : 1565-1570.
- Daoud, Y., Cheverry, C., Robert, M., 1993 Rôle physico-chimique du magnésium dans les sols salés des plaines du Chélif (Algérie). *Science du Sol*, Vol. 31, 4, 281-293.
- Daoud, Y., 1999 - Influence des conditions salines sur les propriétés physiques des sols des plaines du Chélif. Séminaire National sur la salinisation des terres agricoles en Algérie, Université de Chlef, Proceeding, 5-15.
- Darboux, F., Davy, P., Gascuel-Oudou, C., Huang, C., 2001 Evolution of soil surface roughness and flowpath connectivity in overland flow experiments. *Catena*, 46, 125-139.
- Douaoui, A., 2005 Variabilité spatiale de la salinité des sols de la plaine du Bas Chélif et sa relation avec certaines caractéristiques des sols. Apport de la géostatistique et de la télédétection. Th. D'Etat, INA, 2005, 220p.

- Douaoui, A., Hervé, N., Walter, Ch., 2006 Detecting salinity hazards within a semi-arid context by means of combining soil and remote-sensing data. *GEODERMA*, 134, 1-2 : 217-230, 2006.
- Durand, J.H., 1958** Les sols de la station d'étude des sols salins de Hamadana. Quelques aspects de la station d'étude des sols salins de Hamadana et de ses activités. *Revue " Terres et eaux "* N°28. 2-17.
- Farres, P.J., 1987** The dynamic of rain splash erosion and the role of soil aggregate stability. *Catena*, 14, 119-130.
- Kazman, Z., Sainberg I., Gal M., 1983** Effect of low levels of exchangeable sodium and applied phosphogypsum on the infiltration rate of various soil. *Soil Science* 135, 184-192.
- Le Bissonnais, Y., 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility : I. Theory and methodology. *Euro. J. of Soil Sci.*, 47, 425-437.
- Oster, J. D., Schroer F. W., 1979** Infiltration as influenced by irrigation water quality. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43, 444-7.
- Oster, J. D., Shainberg I., 2001** Soil responses to sodicity and salinity : Challenges and opportunities. *Aust. J. Soil Res.*, 39, 1219-1224.
- Römken, M. J. M., Helming K., Prasad S. N., 2001** Soil erosion under different rainfall intensities, surface roughness, and soil water regimes. *Catena* 46, 103-123.
- Saidi, D., Douaoui A., Le Bissonnais Y., Walter C., 1999** Sensibilité des couches de surface des plaines du Chéouiff (Algérie) à la dégradation structurale. *Etude et Gestion des Sols*, 6 (1): 15-25.
- Sumner, M. E., 1993** – Sodic soils : New Perspectives. *Aust. J. Soils Res.*, 31, 683-750.