

# Sensibilité de la surface des sols des plaines du Chélif à la dégradation structurale

D. Saidi<sup>(1)</sup>, A. Douaoui<sup>(1)</sup>, Y. Le Bissonais<sup>(2)</sup> et C. Walter<sup>(3)</sup>

1 - Centre universitaire, Institut d'Agronomie BP 151, Chlef, Algérie

2 - SESCOF, Centre INRA d'Orléans, 45160 Ardon

3 - ENSA-INRA, Laboratoire de Science du Sol, 65, rue St Brieuc, 35042 Rennes- Cedex, France

## RÉSUMÉ

Les couches superficielles des sols des plaines du Chélif (Algérie) présentent une stabilité structurale moyenne à médiocre. Il s'agit par ce travail d'estimer leur stabilité structurale par différentes méthodes, en l'occurrence les méthodes de Hénin et al. (1958), d'Emerson (1967) et de Le Bissonais (1988, 1996), pour déterminer les sols les plus sensibles à la battance ainsi que les caractéristiques liées à cette sensibilité.

Les résultats des deux premiers tests de Le Bissonais et d'Emerson sont très corrélés entre eux et liés aux caractéristiques physico-chimiques des échantillons. Ces tests s'avèrent ainsi les mieux adaptés pour estimer la stabilité structurale dans ce type de milieu. La teneur en matière organique et la conductivité électrique des échantillons sont les facteurs principaux de leur stabilité structurale. Leur effet induit des différences importantes de stabilité structurale entre les parties haute, moyenne et basse de la plaine du Chélif.

## Mots clés

Stabilité structurale, battance, salinité, Algérie

## SUMMARY

### SENSITIVITY OF SOIL SURFACE LAYERS FROM CHELIFF PLAIN (ALGERIA) TO STRUCTURAL DEGRADATION.

Topsoil layers of the Cheliff plain (Algeria, fig. 1) present poor to medium structural stability. 25 samples mainly differing by texture and salinity (tab. 1) have been collected at various sites. The aim of this work is to estimate their structural stability by different methods, including the test of Hénin and al. (1958), the test of Emerson (1967) and those of Le Bissonais (1988, 1996), to be able to determine the soils sensitive to crusting and the characteristics linked to this sensitivity. One seeks equally to propose an instability index to express synthetically the results of the test of Le Bissonais.

Results of the first two tests of Le Bissonais and the test of Emerson are very close and linked to the samples characteristics (tab. 2, 3 and 4). Thus, these tests seem best suited for structural stability estimation in this context. The content in organic matter and the electrical conductivity are the main factors of the structural stability, as shown by factorial analysis (fig. 4). Their effect induces important differences of structural stability between the high, medium and low parts of the Cheliff plain.

## Key-words

Structural stability, crusting, salinity, Algeria

## RESUMEN

## SENSIBILIDAD DE LA SUPERFICIE DE LOS SUELOS DE LAS PLANICIES DEL CHELIF A LA DEGRADACIÓN ESTRUCTURAL

El análisis del perfil cultural, la resistencia a la penetración y la porimetría con mercurio fueron usados para estimar las modificaciones físicas de un suelo ferralítico forestal de Baja Costa de Marfil, después de un desmonte motorizado seguido de un cultivo sin o con laboreo. Las consecuencias sobre el enraizamiento del maíz fueron apreciadas por conteo y cartografía de los puntos de raíces. La degradación estructural evaluada por la reducción de la porosidad gruesa (poros de diámetros equivalentes  $> 6\mu\text{m}$ ) y el aumento de la resistencia a la penetración, que afectan el suelo cultivado sin laboreo están asociados a un pequeño desarrollo de las raíces del maíz. El laboreo asegura el mantenimiento de los caracteres físicos favorables al enraizamiento, aunque volúmenes compactos y masivos ligados a fenómenos de compactación están presentes en la capa laborada. Se estableció una correlación significativa entre los valores de resistencia a la penetración y de densidad de raíces fue establecida.

Palabras claves

Estabilidad estructural, batidez, salinidad, Argelia.

La structure des couches superficielles des sols cultivés des plaines du Chélif (Algérie) évolue rapidement sous l'action des pluies et des irrigations. Dans la région du Chélif qui constitue une plaine alluviale à haut potentiel de production agricole, les sols présentent souvent une structure à stabilité moyenne à médiocre (Heddadj, 1970; Derdour, 1981; Daoud, 1983; Saïdi, 1992). La nature et l'intensité de ce comportement dépendent de nombreux facteurs à savoir les conditions climatiques, la couverture du sol, les propriétés des matériaux constitutifs et les conditions hydriques et structurales lors de l'exposition aux pluies (Monnier et al., 1973; Boiffin, 1984; Shainberg et Letey, 1984; Le Bissonnais, 1988; Le Souder, 1990; Fiès et Panini, 1995).

L'une des manifestations les plus caractéristiques de cette évolution est la battance qui résulte essentiellement de la désagrégation des mottes de terres (Boiffin, 1984; Le Bissonnais et al., 1990) et du détachement et transport des particules (splash) (Al Durrah et Bradford, 1982; Boiffin, 1984; Le Bissonnais, 1988; Le Souder, 1990). La salinité qui existe dans une grande partie de ces plaines accentue cette dégradation (Saïdi, 1992).

Confrontée à des comportements très différents des sols des plaines du Chélif et dans le but de mieux cerner et évaluer les risques de dégradation des sols, cette étude a pour objectifs :

- de comparer différentes méthodes d'estimation de la stabilité structurale des sols pour identifier celles qui apparaissent les plus pertinentes dans ce type de milieu;
- de relier les résultats des tests de stabilité structurale à

des propriétés du sol faciles d'accès pour permettre une identification cartographique des sols les plus sensibles à la dégradation structurale des couches de surface.

## MATERIEL ET MÉTHODES

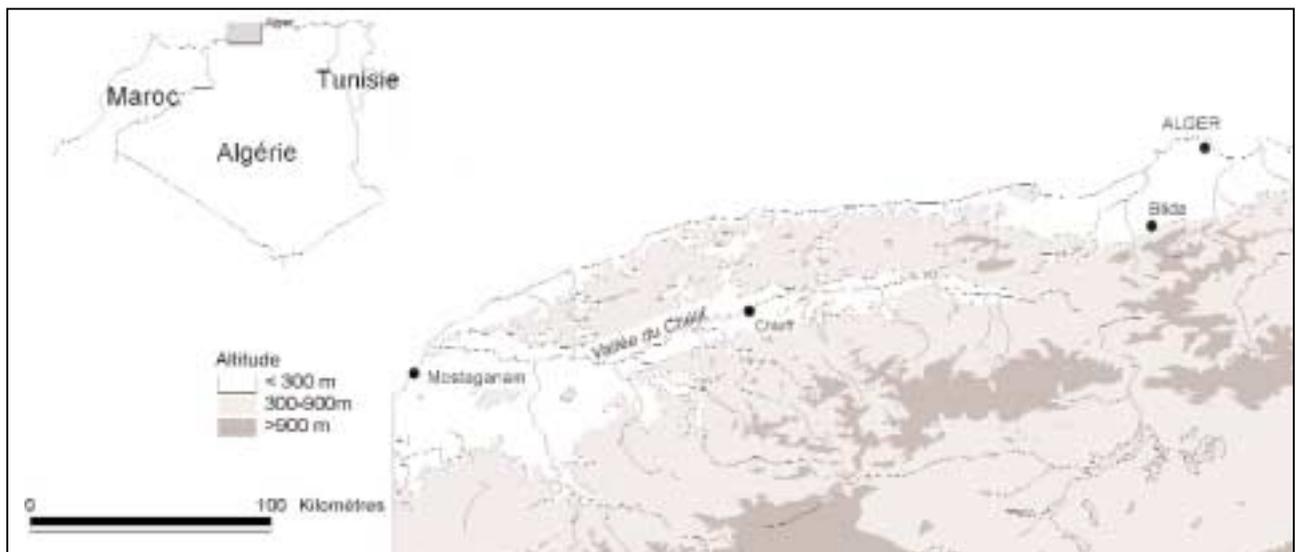
### Le secteur d'étude et l'origine des échantillons

La vallée du Chélif constitue une plaine d'une superficie de 4 000 km<sup>2</sup> environ, s'étendant d'est en ouest dans la partie orientale et sublittorale de l'Algérie, sous un climat méditerranéen semi-aride (figure 1). Elle est subdivisée en trois parties, les haut, moyen et bas-Chélif, avec des altitudes moyennes respectives de 300, 160 et 70 mètres et des pluviométries annuelles de 470 à 390 mm.

Les sols de ces plaines sont formés dans des alluvions quaternaires (Boulaine, 1956, 1957; Daoud, 1983). Ce sont des sols en majorité peu différenciés, plus ou moins calcaires, de texture variable, parfois hydromorphes, avec localement la présence de sols vertiques ou calcimagnésiques. Le bas-Chélif se distingue par la présence de nombreux sols salés.

Vingt-cinq échantillons ont été prélevés dans les couches superficielles (0-25 cm) des différentes plaines du Chélif, dont 9 échantillons du bas-Chélif, 7 du moyen-Chélif et enfin 9 du haut-Chélif. Une forte variabilité texturale a été recherchée de façon à disposer a priori d'une large gamme de stabilités structurales.

Figure 1 - Localisation de la plaine du Chélif en Algérie  
Figure 1 - Location of the Cheliff Plain in Algeria.



Les conditions au champ lors du prélèvement pouvaient être très variables et il était nécessaire pour établir des comparaisons valables, de rechercher une standardisation de l'état physique des échantillons avant de les soumettre aux tests. Un séchage à l'air des matériaux est primordial sachant que l'histoire hydrique de l'échantillon peut toujours avoir une influence sur le résultat du test (Le Bissonais et al., 1989-1990; Fiès et Panini, 1995).

Ces échantillons sont caractérisés par : - les fractions granulométriques après décarbonatation, argile (A), limons (L) et sables (S); - le pH mesuré dans une suspension terre/eau de 1/2.5; - le calcaire total (Ca) déterminé par volumétrie au calcimètre Bernard; la matière organique (MO) selon la méthode Anne; - la conductivité électrique (CE) sur un extrait de pâte saturée; - le taux d'infiltration final (If) mesuré sur sol tamisé à 2 mm, sous une pluie simulée de 20 mm/h, dans des bacs infiltromètres de 15x 20x10 cm placés sur un support ayant une inclinaison de 5 % pour éviter une surcharge due à l'accumulation de l'eau qui pourrait augmenter l'infiltrabilité (Saidi, 1992); - différents tests de stabilité structurale.

### Méthodes de mesure de la stabilité structurale

Il existe au niveau international de très nombreuses méthodes de mesure de la stabilité structurale, ce qui montre à la fois l'intérêt porté à cette notion et l'absence d'une standardisation pour son évaluation.

Plusieurs méthodes ont été adoptées ayant en commun la mise en contact des matériaux étudiés avec un large excès d'eau (immersion), ensuite l'évaluation par tamisage du résultat de la division des agrégats de différents diamètres et une classification des sols selon leur aptitude à la dégradation (Le Bissonais et Le Souder, 1995).

#### Méthode de Hénin et al. (1958)

La première méthode, qui est celle proposée par Hénin et al. (1958), détermine la stabilité des agrégats après qu'ils aient subi un traitement à l'éthanol, au benzène ou à l'eau, appréciant ainsi respectivement la cohésion, la mouillabilité et l'effet direct de l'eau sur la stabilité. Ces appréciations s'obtiennent par la mesure de la quantité d'agrégats de dimension supérieure à 200  $\mu\text{m}$  recueillis par tamisage et par la comparaison de cette quantité d'agrégats à celles d'argile (A) et de limon (L) dispersées dans les mêmes conditions.

Les résultats sont présentés sous la forme de taux d'agrégats stables obtenus à l'issue des différents tests de tamisage sous l'eau (Aga pour le prétraitement à l'alcool éthylique, Agb pour le prétraitement au benzène, Age sans prétraitement). L'évaluation de la stabilité par cette méthode est représentée par un indice d'instabilité  $I_s$ , tenant également compte des sables grossiers ( $S_g$ ) :

$$I_s = \frac{(A + L) \max}{\frac{\sum (Aga + Agb + Age)}{3}} - 0,9 \times S_g$$

### Méthode d'Emerson (1967)

La deuxième méthode se base sur la classification d'Emerson (1967), très descriptive dans son aspect, qui demande peu de matériel. Des agrégats de 3 à 5 mm de diamètre, séchés à l'air, sont introduits dans l'eau distillée. Par la suite, des notes sont prises sur les comportements des agrégats. Les sols qui ne se dispersent pas dans cette première étape, sont soumis à une humidité correspondant à la capacité au champ puis testés une seconde fois. Les sols ne contenant ni carbonates ni gypse sont classés par simple observation de la dispersion ou de la floculation.

Ce test dichotomique met à notre disposition une classification très ordonnée allant, en fonction du degré de stabilité, de la classe 1 à la classe 8. Nous avons regroupé ces 8 classes en 3 classes correspondant à des classes de stabilité « faible » (EM1), « moyenne » (EM2) et « élevée » (EM3).

### Méthode de Le Bissonnais (1988, 1995, 1996)

La troisième méthode, mise au point par Le Bissonnais (1988, 1995, 1996), a pour caractéristique fondamentale de limiter les actions mécaniques autres que celles de l'eau, permettant ainsi une meilleure description des conditions de la désagrégation. Elle se réalise par trois tests principaux dont chacun correspond à des conditions particulières d'interaction eau/sol :

- l'éclatement est reproduit par la mise en contact d'un lot d'agrégats avec un volume assez important d'eau. Cette opération est suivie d'un tamisage à 100 µm dans l'éthanol afin de fixer le premier état de désagrégation atteint par les fragments. Le refus du tamis est ensuite séché à l'étuve jusqu'à poids

constant ;

- l'effet de l'énergie cinétique, caractérisant la goutte de pluie lorsqu'elle arrive au sol, est mis en évidence par le second test, où les agrégats sont d'abord mis en contact avec l'éthanol afin de minimiser le mécanisme de désagrégation par éclatement. Par la suite, ils sont soumis à des contraintes mécaniques d'agitation et de tamisage ;

- la microfissuration par éclatement partiel fait l'objet du troisième test qui consiste à placer des agrégats sur un spontex humide reproduisant ainsi l'effet de la réhumectation par capillarité.

Nous obtenons in fine une distribution en six classes de la taille des particules résultantes.

Dans le cadre de cette étude, nous avons exprimé les résultats de chacun de ces tests à travers un indice d'instabilité (LB1, LB2, LB3) défini par :

$$LB = (\% \text{ des particules } < 100 \mu\text{m}) / (\% \text{ d'agrégats } > 100 \mu\text{m})$$

Dans cette expression, nous considérons la fraction inférieure à 100 µm comme étant la fraction fine, et ceci parce que les particules détachées par les gouttes sont généralement des microagrégats ou des particules élémentaires inférieures à 100 µm (Farres, 1987). De plus, le rôle important joué par les fragments et particules inférieures à 100 µm dans la réduction de l'infiltrabilité a également été montré (Loch, 1989).

### Les méthodes d'étude multidimensionnelles

L'existence de relations entre les différents tests de stabilité entre eux et avec d'autres caractéristiques du sol nous a amené à appliquer l'analyse factorielle de correspondances

Tableau 1 - Statistiques générales de différentes caractéristiques physico-chimiques des échantillons selon leur origine au sein de la plaine du Chélif.

Table 1 - Statistics of several physico-chemical properties of topsoil samples according to their origin within the Cheliff's plain.

Ensemble	Moyenne arithmétique				Ecart-type			
	bas	moyen	haut	Ensemble	bas	moyen	haut	
	Chélif	Chélif	Chélif		Chélif	Chélif	Chélif	
pH	7,9	7,7	7,6	7,7	0,2	0,2	0,2	0,2
Cond. électrique (dS/m)	12,2	0,6	0,9	4,6	10,0	0,3	0,4	7,6
CaCO <sub>3</sub> %	24	15	13	18	1,7	7,5	9,6	8,8
Matière organique %	1,2	1,4	1,7	1,4	0,6	0,8	0,2	0,6
Argile %	27	27	32	29	4,6	8,4	4,8	6,4
Limons %	46	43	43	44	3,7	4,3	10,8	7,5
Sables %	27	30	25	27	4,6	10,8	10,0	8,9

Tableau 2 - Statistiques générales des tests de stabilité structurale selon leur origine au sein de la plaine du Chélif.

Table 2 - General statistics of the structural stability tests according to their origin within the Cheliff's plain

	Moyenne arithmétique				Ecart-type			
	bas-Chélif	moyen-Chélif	haut-Chélif	Ensemble	bas-Chélif	moyen-Chélif	haut-Chélif	Ensemble
IsS	6,8	5,2	3,5	5,2	3,1	1,7	0,9	2,5
LB1	2,5	1,9	0,9	1,8	1,0	1,4	0,5	1,2
LB2	5,4	3,3	1,3	3,3	2,7	2,3	0,8	2,6
LB3	1,3	1,1	1,3	1,3	0,09	0,02	0,33	0,03

Tableau 3 - Matrice de corrélation linéaire entre les différents tests de stabilité structurale (les corrélations significatives au seuil de 0.05 sont soulignées).

Table 3 - Linear correlations between the different structural stability tests (significant correlations to the threshold of 0.05 are underlined).

	Is	EM	LB1	LB2	LB3
Is	1,00				
EM	<u>-0,50</u>	1,00			
LB1	<u>0,54</u>	<u>-0,80</u>	1,00		
LB2	<u>0,52</u>	<u>-0,83</u>	<u>0,91</u>	1,00	
LB3	0,18	-0,16	0,36	0,25	1,00

multiples (AFCM) pour mettre en évidence les corrélations entre les différents tests et avec les caractéristiques physico-chimiques des sols.

Cette méthode autorise également à traiter dans le même tableau des données quantitatives et des données qualitatives (le cas du test d'Emerson) et permet de mettre en évidence des liaisons non linéaires entre les variables (Escofier et Pagès, 1990) : par exemple, la salinité peut n'avoir d'effet sur la stabilité qu'à partir d'un certain seuil.

Dans cette analyse, les variables exprimant la stabilité structurale sont considérées comme des variables actives contribuant à la définition des axes factoriels, les autres caractéristiques prises en compte (MO, CE) comme des variables supplémentaires. Chaque variable est subdivisée en trois modalités, choisies en équilibrant les effectifs et/ou en tenant compte de limites adoptées dans la littérature.

## RÉSULTATS

### Caractérisation statistique des différentes populations d'échantillons

#### Les caractéristiques physico-chimiques

Les statistiques générales des caractéristiques physico-chimiques des sols selon les différents secteurs géographiques sont données dans le tableau 1. Elles indiquent la prédominance de sols à pH basique, généralement calcaires, avec des teneurs en matière organique comprises entre 1 et 2 % et une texture argilo-limoneuse.

Les échantillons de la plaine du bas-Chélif se distinguent par des moyennes élevées pour le pH, la conductivité électrique et la teneur en calcaire, des moyennes faibles pour la teneur en matière organique et l'infiltrabilité et, excepté pour la conductivité électrique, des écarts-types faibles traduisant une variabilité moindre des résultats dans cette région par rapport au moyen ou au haut-Chélif.

#### Les indices de stabilité structurale

L'ensemble des tests de stabilité expriment des résultats convergents (tableau 2) et montrent qu'en moyenne les sols les plus stables se localisent au niveau du haut-Chélif alors que les plus instables se trouvent dans le bas-Chélif. Néanmoins, les écarts-types sont généralement importants, montrant une forte variabilité y compris parmi les échantillons provenant d'un même secteur.

Concernant les valeurs des indices d'instabilité de Le Bissonnais, la moyenne la plus élevée de ces indices est celle du deuxième test, la plus faible celle du troisième test. Ce résultat montre bien que c'est l'énergie mécanique, appliquée uniquement dans le second test, qui désagrège le plus le sol.

#### La comparaison des tests de stabilité structurale

Les coefficients de corrélation linéaire calculés entre les différents tests de stabilité structurale (tableau 3) sont très variables : il est proche de 0 entre Emerson et le troisième test de Le Bissonnais (0.16) et atteint la valeur de 0.91 entre les deux premiers tests de Le Bissonnais.

Plusieurs niveaux de corrélations entre les différents tests apparaissent :

- des liaisons fortes entre LB1, LB2 et Emerson

Figure 2 - Relations entre différents tests de stabilité structurale : A - LB2 en fonction de LB1 ; B - LB3 en fonction de Is. La première lettre du code des échantillons indique leur origine (B : bas-Chélif, M : moyen-Chélif, H : haut-Chélif)

Figure 2 - Relationships between different structural stability tests: A - LB2 according to LB1; B - LB3 according to Is. The first letter of the code of samples indicates their origin (B: low Cheliff, M: medium Cheliff, H: high Cheliff)

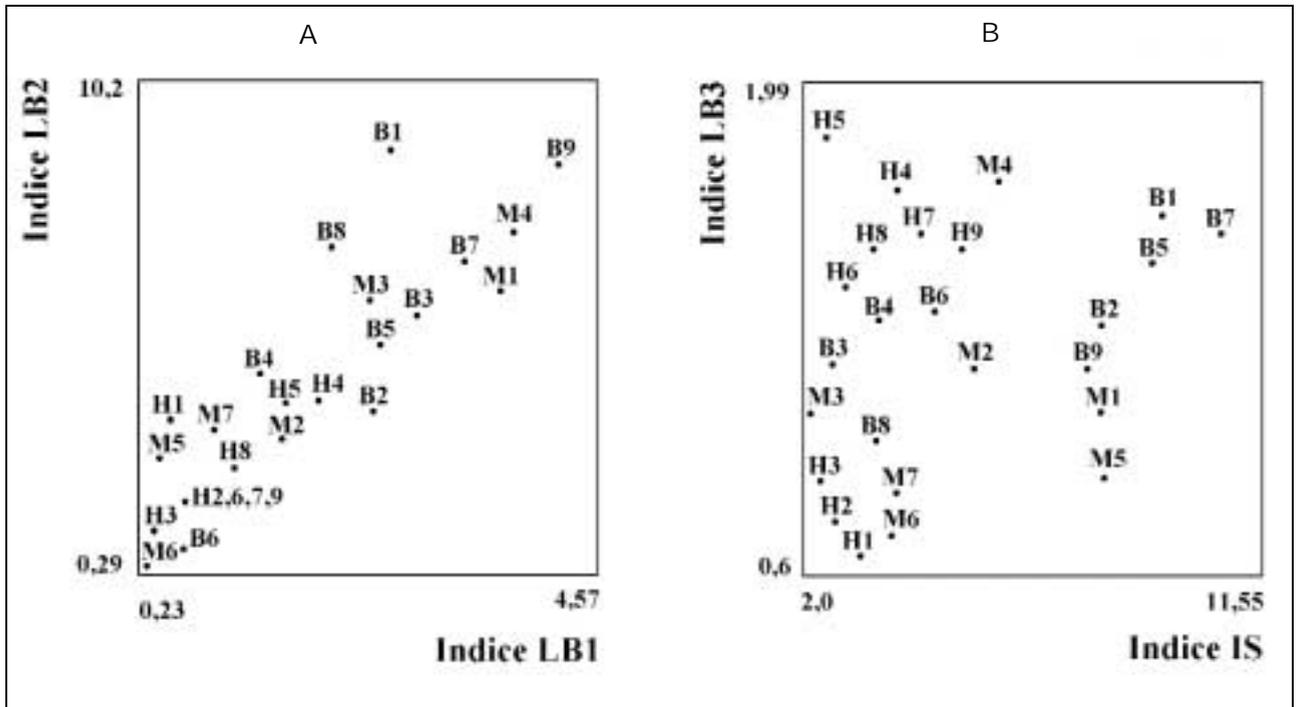


Figure 3 - Relations entre les trois classes du test d'Emerson et les indices LB2 et LB3 du test de Le Bissonnais.

Figure 3 - Relationships between Emerson test classes and index values LB2 and LB3 of the Le Bissonnais test.

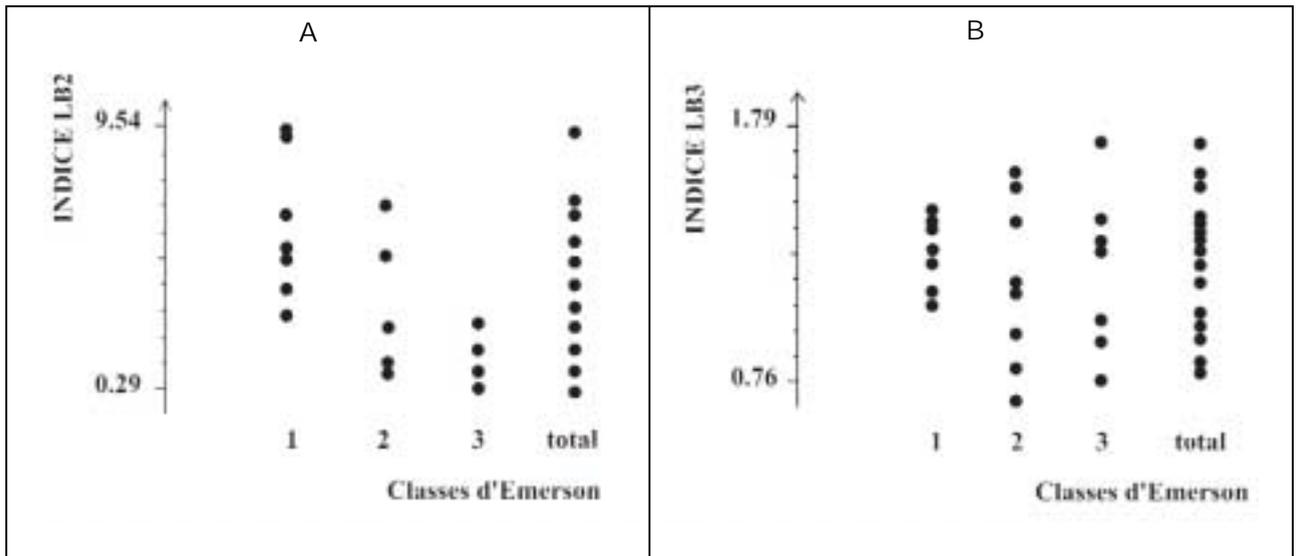


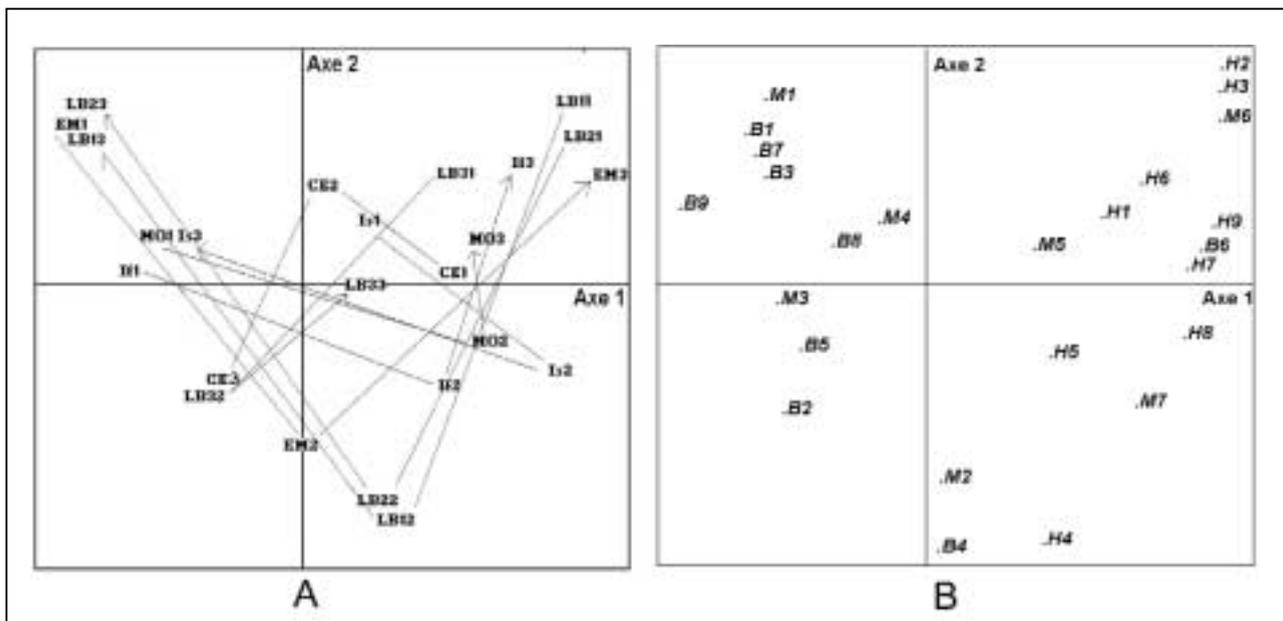
Tableau 4 - Matrice de corrélation linéaire entre les différents tests de stabilité structurale et des caractéristiques physico-chimiques des sols (les corrélations significatives au seuil de 0,05 sont soulignées).

Table 4 - Linear correlations between the different structural stability tests and other soil characteristics (significant correlations to the threshold of 0,05 are underlined).

	Infiltrab.	pH	Cond. électrique	Calcaire total	Matière organique	Argile	Limon	Sable
Is	<u>-0,41</u>	0,30	0,32	0,35	<u>-0,50</u>	-0,26	-0,10	0,27
EM	<u>0,75</u>	<u>-0,51</u>	<u>-0,55</u>	-0,30	<u>0,62</u>	0,33	0,05	-0,23
LB1	<u>-0,61</u>	0,08	0,30	0,05	<u>-0,71</u>	<u>-0,44</u>	-0,17	<u>0,48</u>
LB2	<u>-0,55</u>	0,09	0,30	0,12	<u>-0,69</u>	-0,29	-0,09	0,31
LB3	-0,24	<u>-0,40</u>	0,07	<u>-0,42</u>	-0,20	-0,25	0,31	<u>0,53</u>

Figure 4 - Représentation des variables (A) et des individus (B) dans le premier plan de l'analyse factorielle des composantes multiples.

Figure 4 - Representation of variables (A) and individuals (B) in the first plan of the factorial analysis.



Les deux premiers tests de Le Bissonais sont très fortement corrélés et de façon positive entre eux (figure 2a). Par ailleurs, LB1 et LB2 sont également bien liés aux classes d'Emerson (figure 3a), la différence entre les trois classes étant nette et régulière et avec une faible dispersion.

- des liaisons moyennes entre le test de Hénin et les autres tests

Le coefficient de corrélation de l'indice Is (tableau 3) avec les autres tests est au mieux de 0,5 indiquant une relation peu marquée de cet indice avec les autres.

- une liaison faible de LB3 avec les autres tests.

Le test LB3 n'est significativement lié avec aucun des autres

tests (tableau 3). Sa représentation avec l'indice Is (figure 2b) ou les classes d'Emerson (figure 3b) montre en effet une dispersion importante des points.

L'effet des caractéristiques physico-chimiques des sols

Analyse des corrélations simples

Les coefficients de corrélation estimés entre les différents tests de stabilité et les autres caractéristiques du sol (tableau 4) indiquent des relations fortes des indices LB1 et

LB2, ainsi que des classes d'Emerson, avec la teneur en matière organique et la mesure d'infiltrabilité. La liaison avec la conductivité n'est pas significative excepté pour le test d'Emerson, mais pour lequel le calcul du coefficient de corrélation est biaisé puisqu'il ne s'agit pas d'une variable continue.

L'indice *I<sub>s</sub>* présente des coefficients de corrélation plus faibles avec la matière organique et l'infiltrabilité. L'indice LB3 enfin, est caractérisé par des coefficients généralement très faibles, non significatifs, exceptés avec les teneurs en sables, en calcaire total et avec le pH.

### Analyse multidimensionnelle

#### Etude des variables

On considère l'AFCM prenant d'une part comme variables actives les modalités issues d'un découpage en trois classes des tests de stabilité structurale et d'autre part comme variables illustratives, la matière organique, l'infiltrabilité et la conductivité électrique. Les deux premiers axes factoriels contribuent respectivement pour 32 % et 16 % à l'inertie totale. La contribution relative des variables à l'inertie expliquée par l'axe 1 est par ordre décroissant : LB1 (21.7), EM (21.4), LB2 (21.3), If (17.3), *I<sub>s</sub>* (13.4), LB3 (4.8). Pour l'axe 2, cette contribution est limitée à LB1 (34.2), LB2 (31.2) et EM (18.3).

L'axe 1 ordonne ainsi régulièrement les modalités des indices LB1, LB2 et des classes d'Emerson, en étant corrélé négativement aux classes de stabilité structurale les plus faibles et positivement à celles les plus élevées. L'axe 2 oppose les classes de stabilité moyenne aux classes extrêmes.

La projection des modalités des variables dans le plan factoriel formé par ces axes (figure 4a) montre que LB1, LB2 et Emerson sont effectivement très liés. Les indices *I<sub>s</sub>* et LB3 sont par contre mal représentés dans ce plan : par exemple, parmi les modalités exprimant une mauvaise stabilité, ne figure pas celle du troisième test de Le Bissonnais. Cette méthode traduisant la microfissuration par éclatement partiel paraît avoir un déterminisme différent des autres tests de stabilité, qui reste à interpréter.

Les variables caractéristiques du sol les plus liées à la stabilité structurale sont la matière organique, l'infiltrabilité et la salinité. C'est ainsi qu'au voisinage des modalités exprimant une bonne stabilité, on retrouve les modalités élevée et moyenne de la matière organique et la modalité la plus faible de la conductivité électrique. Dans le voisinage des modalités montrant une faible stabilité, on retrouve la modalité la plus faible de la matière organique et la modalité la plus élevée de la salinité.

#### Etude des individus

Le trait marquant de l'étude de la position des individus dans le plan factoriel (figure 4.b) est leur regroupement selon leur origine géographique. On peut voir que pour le bas-Chélif, 7 des 9 individus se regroupent dans le voisinage des moda-

lités exprimant une faible stabilité structurale. Pour le haut-Chélif, on retrouve un regroupement de 8 individus dans le voisinage des modalités exprimant une bonne stabilité structurale. L'individu restant (H4) se trouve parmi les modalités moyennes. Les deux individus restant du bas-Chélif (B6 et B4) appartiennent respectivement aux groupes exprimant une bonne et une moyenne stabilité.

#### Analyse factorielle discriminante selon l'origine géographique des individus.

Pour confirmer l'effet de l'origine géographique des individus, une analyse factorielle discriminante a été appliquée aux 5 tests de stabilité structurale, excepté celui d'Emerson qui est qualitatif, avec les 25 individus et une affectation en 3 groupes selon leur origine géographique, c'est à dire le bas, le moyen et le haut-Chélif. Les axes discriminants obtenus permettent de reclasser les individus selon leur origine géographique avec un pourcentage de bon classement de 80 %.

Une deuxième analyse discriminante a été appliquée cette fois à l'ensemble des 13 variables mesurées sur un échantillon. Les résultats obtenus par cette analyse confirment encore davantage les différences entre les trois plaines puisque le pourcentage des individus bien classés est égal à 88 %. En effet tous les individus appartenant au bas-Chélif et seulement eux ont été affectés à cette plaine. C'est pratiquement le cas aussi pour le moyen et le haut-Chélif où deux échantillons provenant de ce dernier (H1 et H2) ont été affectés au groupe moyen-Chélif qui a eu un seul de ses échantillons (M7) affectés au haut-Chélif.

## DISCUSSION

### Les tests de stabilité structurale

Différentes méthodes existent pour mesurer la stabilité structurale des sols. Ces méthodes essaient de mettre en évidence l'effet des mécanismes de désagrégation par l'eau. Ces mécanismes sont l'éclatement, l'impact des gouttes de pluie, la désagrégation par gonflement différentiel et la dispersion physico-chimique (Le Bissonnais et Le Souder, 1995). Les méthodes que nous avons appliquées dans ce travail mettent en jeu l'ensemble de ces mécanismes.

Parmi les différents tests utilisés, les deux premiers tests de Le Bissonnais et le test d'Emerson présentent des comportements très similaires et sont le mieux corrélés aux caractéristiques des échantillons. Notons également la corrélation forte de ces tests avec la mesure d'infiltrabilité, ce qui permet d'envisager l'utilisation de cette dernière mesure simple pour estimer la stabilité structurale. L'indice *I<sub>s</sub>* de Hénin exprime les mêmes tendances mais de façon moins marquée. Seul le troisième test de Le Bissonnais a eu des résultats différents.

Ce résultat trouve son explication par le fait que ce test ne provoque qu'un éclatement partiel et donc une désagrégation qui ne peut être que modéré ne pouvant rendre compte réellement de la différence de stabilité entre les sols étudiés, ce qui se manifeste par la faible dispersion des résultats obtenus. Toutefois, nous pensons, au vu de la faible mobilisation des particules qu'il engendre, que ce test peut donner des résultats intéressants dans le cas d'une comparaison entre des sols très fragiles.

Les indices d'instabilité LB proposés pour exprimer les résultats des tests de Le Bissonnais complètent les méthodes d'expression déjà proposées comme le diamètre moyen pondéré (MWD) ou bien les histogrammes de distribution de la taille des particules (Le Bissonnais et Le Souder, 1995). En ne tenant compte que d'un seuil de 100  $\mu\text{m}$ , ces indices présentent l'inconvénient de confondre des particules élémentaires et des agrégats de petite taille; leur intérêt réside cependant dans la possibilité d'exprimer les résultats simplement selon une échelle continue, mais également dans le fait que leur détermination ne nécessite qu'un tamis de 0,1 mm, ce qui engendre un gain de matériel et de temps. Les corrélations fortes observées avec le test d'Emerson et la mesure d'infiltrabilité montrent que le choix de ces indices a été pertinent dans le type de milieu étudié.

### Les déterminants de la stabilité structurale

Les principales caractéristiques du sol qui influencent la stabilité structurale dans notre cas sont la matière organique et la conductivité électrique, l'effet de la composition granulométrique et des teneurs en calcaire étant moins apparent.

La matière organique est le paramètre le plus déterminant dans la stabilité structurale y compris pour les sols étudiés avec des salinités parfois élevées. En effet, tous les sols dont le taux de matière organique est inférieur à 1 % ont une faible stabilité structurale et ceux qui ont un taux relativement élevé possèdent par contre une bonne stabilité. Le cas le plus frappant est celui de l'échantillon B6 qui, malgré une salinité élevée de 10,22 dS/m, mais un taux de MO des plus élevés (2,4 %), a une bonne stabilité structurale. Cette influence est expliquée par le rôle que joue cette matière organique dans la liaison entre les particules minérales du sol d'une part (Chenu, 1989), et l'hydrophobie des surfaces des particules minérales d'autre part, ce qui a pour effet de ralentir la vitesse d'humectation des agrégats et donc de réduire l'éclatement (Jouany et al., 1992; Le Bissonnais et Arrouays, 1997).

L'influence de la salinité est relativement moins importante et elle n'est pas toujours synonyme de mauvaise stabilité. L'échantillon B6 peut être cité comme exemple. En plus, certains sols ayant une salinité faible à très faible peuvent présenter une mauvaise stabilité, c'est le cas du B1, B9 et M1

alors que des sols qui ont une salinité excessivement élevée, tels que le B8 (28.51 dS/m), ne sont pas les plus fragiles.

L'origine géographique des échantillons est apparue déterminante : l'AFCM et l'analyse discriminante ont permis de montrer que des différences fortes entre régions existaient pour les caractéristiques des échantillons et pour les résultats des tests de stabilité structurale. La sensibilité de ces sols à la battance est plus élevée pour les sols du bas-Chélif, elle est la plus faible pour les sols du haut-Chélif. La battance des sols du moyen-Chélif est très variée et dépend principalement de la matière organique. Cette discrimination très nette des échantillons selon leur origine est à relier à des contextes pédologiques différents selon les secteurs de la vallée du Chélif : les sols salés sont particulièrement présents dans le bas-Chélif et de façon moindre dans le moyen-Chélif; dans le haut-Chélif, les sols présentent des teneurs fortes en argile et sont relativement riches en matière organique; ces mêmes paramètres sont plus faibles et beaucoup plus variables dans le moyen-Chélif (tableau 1).

### CONCLUSION

L'objectif principal de ce travail a consisté à mettre en oeuvre plusieurs tests de stabilité structurale dans le but d'une part de les comparer sur un jeu d'échantillons variés et d'autre part d'identifier les sols de la plaine du Chélif les plus sensibles à la battance.

Les meilleurs tests à préconiser dans cette région sont les deux premiers tests de Le Bissonnais et le test d'Emerson : ils conduisent à des résultats semblables et bien corrélés aux caractéristiques physico-chimiques des échantillons. On a appliqué une nouvelle façon d'exprimer les résultats de la méthode de Le Bissonnais en calculant un indice d'instabilité qui est le rapport entre la fraction fine < 0,1 mm et la fraction > 0,1 mm.

Il est bien entendu clair qu'une généralisation de ces résultats sur l'ensemble des plaines du Chélif n'est pas à l'ordre du jour. D'autres études avec des échantillons plus nombreux par plaine sont nécessaires. Dans ce sens, on a déjà entamé une étude sur 44 échantillons dans le bas-Chélif et 65 échantillons ont été prélevés au sein d'une parcelle du moyen-Chélif.

## BIBLIOGRAPHIE

- Al-Durrah AL. M., Bradford J. M., (1982) - The mechanic of rain drops splash on soil surface. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46, pp. 1086 - 1096.
- Boiffin J. (1984) - La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies. Thèse de Docteur ingénieur INA PG ; 320 p et annexes.
- Boulaïne J. (1956) - Carte des sols des plaines du Chélif au 1/50.000e, feuilles 1 à 5. Inspection générale de l'Agriculture du Gouvernement Général de l'Algérie.
- Boulaïne J. (1957) - Etude des sols des plaines du Chélif. Thèse d'Etat de l'Université d'Alger, 582 p.
- Chenu C., (1989) - Influence of fungal polysaccharide, scleroglucan, on clay microstructures. *Soil Biology and Biochemistry*, 21, 299-305.
- Derdour H., (1981) - Contribution à l'étude de l'influence du taux de sodium échangeable sur le comportement des sols aux compactage. Thèse Magister INA Alger, 46 p.
- Daoud Y. (1983) - Contribution à l'étude de la dynamique des sols dans un sol irrigué du périmètre du Haut-Chélif (Algérie). Thèse de Docteur-Ingénieur de l'ENSA de Rennes, 194 p.
- Emerson W. W., (1967) - A classification of soil aggregates based on their coherence in water. *Aust. J. Soil Res.* 5, pp. 47-57.
- Escofier B et Pagès J., (1990) - Analyses factorielles simples et multiples - Objectifs, méthodes et interprétation. Deuxième édition, Bordas, Paris, 320 p.
- Farres P.J., (1987) - The dynamics of a rainsplash erosion and the role of soil aggregate stability. *Catena*, 14, 119-130.
- Fiès J.C. et Panini T., (1995) - Infiltrabilité et caractéristiques physiques de croûtes formées sur massifs d'agrégats initialement secs ou humides soumis à des pluies simulées. *Agronomie*, 15, 205-220.
- Jouany C., Chenu C. et Chassin P., (1992) - Détermination de la mouillabilité des constituants du sol à partir de mesures d'angles de contacts, revue bibliographique. *Science du Sol*, 30, 33-47.
- Heddadj D. (1970) - Influence des méthodes culturales sur la dégradation structurale des sols du périmètre irrigué du haut-Chélif. Thèse Ingénieur INA Alger, 86 p.
- Hénin S., Monnier G. et Combeau A. (1958) - Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. *Annales agronomiques*. 9, 73-92.
- Le Bissonnais Y., (1988) - Analyse des mécanismes de désagrégation et de la mobilisation des particules de terre sous l'action des pluies. Thèse Doct. de Science de la terre. Univ. Orléans 196 p.
- Le Bissonnais Y., (1996) - Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility : I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science*, 47, 425-437.
- Le Bissonnais Y., Bruand A. et Jamagne M., (1989-1990) - Etude expérimentale sous pluie simulée de la formation des croûtes superficielles - apport à la notion d'érodibilité des sols. *Cah. ORSTOM, Ser. Pédol.*, vol. 27, n°1-2, 31-40.
- Le Bissonnais Y. et Le Souder Ch., (1995) - Mesurer la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité à la battance et à l'érosion. *Etude et Gestion des Sols*, 2, 1, 1995, 43-56.
- Le Bissonnais Y. et Arrouays D., (1997) - Aggregate stability and assessment of

soil crustability and erodibility: Application to humic loamy soils with various

organic carbon contents. *European Journal of Soil Science.*, 48, 39-48.

Le Souder C., (1990) - Effet d'un conditionneur minéral sur la formation des

croûtes superficielles du sol sous l'action des pluies. Mode d'action du

conditionneur sur la stabilité. Thèse Doct. INA Paris Grignon., 181 p.

Loch R.J., (1989) - Aggregate breakdown under rain : its measurement and inter-

pretation. PhD Thesis, University of New England, Armidale, 234 p.

Monnier G., Stengel P., et J. C. Fiès, (1973) - Une méthode de mesure de la

densité apparente de petits agglomérats terreux. Application à l'analyse

du système de porosité. *Ann. Agron.* 25(4), pp. 533 - 545.

Saidi D., (1992) - Etude expérimentale de la stabilité structurale des sols des

plaines du Cheliff. Thèse Magistère, INA, Alger, 140 p.

Shainberg I. et Letey J., (1984) - Response of soil to sodic and saline condi-

tions. *Hilgardia* 52 (2) : 1-57.