

Modification de la porosité du sol sous les techniques culturales de conservation en zone semi-aride Marocaine

S. Lahlou⁽¹⁾, M. Ouadia⁽¹⁾, O. Malam Issa⁽²⁾, Y. Le Bissonnais⁽²⁾ et R. Mrabet⁽³⁾

(1) Département de Géologie UFR Géosciences et Environnement, Faculté des Sciences, Université Chouaib Doukkali, B.P.20, 24000 El Jadida, Maroc

(2) Institut National de la Recherche Agronomique (I.N.R.A) Unité des Sciences du sol, Centre de recherche d'Orléans, France

(3) Institut National de la Recherche Agronomique (I.N.R.A) Centre Aridoculture, Settat Maroc

RÉSUMÉ

La porosité du sol est une caractéristique majeure contrôlant les propriétés hydrodynamiques du sol et le développement racinaire des plantes, mais aussi un indicateur physique de la qualité du sol influencé par les différentes techniques culturales. Cette étude s'intéresse à la détermination des effets des techniques culturales sur le système poral d'un sol argileux gonflant après 10 ans d'expérimentation en zone semi-aride Marocaine (plaine de la Chaouia). L'analyse de la porosité du sol des horizons superficiels (0-5 cm) à l'aide de la porosimétrie au mercure a révélé une modification de la porosité du sol sous les systèmes de labour conventionnel et de non travail du sol. Toutefois, l'augmentation de la teneur en matière organique en fonction du type de la rotation céréalière intensive contribue aussi à l'accroissement de la porosité structurale du sol. L'introduction de la jachère chimique en régime de non travail du sol n'a pas eu d'impact sur la porosité du sol.

Mots clés

Porosité du sol, porosimétrie au mercure, non travail du sol, jachère, Maroc.

SUMMARY

MODIFICATION OF SOIL POROSITY UNDER CONSERVATION TILLAGE IN A SEMIARID AREA OF MOROCCO

Soil porosity is a major characteristic controlling soil hydrodynamic properties and plant growth, and also an indicator of soil physical quality affected by soil management practices. This study was conducted in long term experiments started in 1994 in a semi-arid research station of Morocco. It is focused on changes in soil porosity affected by various soil management practices. Soil porosity from the topsoil (0-5 cm) was analysed by mercury porosimetry. Pertinent findings indicate that both conventional and no-tillage system induced variation of soil porosity. The effect of crop rotation on soil structural porosity was significant. In fact, soil organic matter accumulation in the top few centimetres under continuous wheat rotation and no till system, increase structural porosity.

Key-words

Soil porosity, mercury porosimetry, no-tillage, fallow, Morocco.

RESUMEN**MODIFICACIÓN DE LA POROSIDAD DEL SUELO BAJO TÉCNICAS DE CULTIVO DE CONSERVACIÓN EN ZONA SEMIÁRIDA MARROQUÍ**

La porosidad del suelo es un factor mayor que controla las propiedades hidrodinámicas del suelo y el desarrollo de las raíces de las plantas, pero también es un indicador físico de la calidad del suelo influenciado por las diferentes técnicas de cultivo. Este estudio se interesa a la determinación de los efectos de las técnicas de cultivo sobre el sistema de poros de un suelo arcilloso expansible después de 10 años de experimentación en zona semiárida marroquí (llanura de la Chaouia). El análisis de la porosidad de los horizontes superficiales (0 - 5 cm) con ayuda de la porosimetría al mercurio reveló una modificación de la porosidad estructural del suelo sobre todo en rotación de cereales continua que enriquece la superficie en materia orgánica y contribuya así al mejoramiento de la macro-porosidad del suelo. La introducción del barbecho en régimen de no trabajo del suelo no dio impacto sobre la porosidad.

Palabras claves

Porosidad del suelo, porosimetría al mercurio, siembra directa, barbecho, Marruecos.

La porosité du sol joue un rôle important dans les échanges hydriques et gazeux, ainsi que dans le développement racinaire. Elle est souvent sujette à des modifications variables lorsque les sols sont compactés. Généralement, la compaction affecte la qualité physique du sol, elle réduit la porosité, ce qui entraîne une mauvaise aération du sol, un mauvais drainage et augmente la résistance à la pénétration des racines, par conséquent réduit la croissance et le rendement de la récolte (McBride *et al.*, 1989). Ouattara *et al.*, (1998) ont montré que la modification de la porosité des sols limono-sableux de Burkina Faso sous l'effet de la mise en culture constitue l'une des causes fondamentales de la baisse de la fertilité physique de ces sols. L'intensité de la compaction est souvent mesurée à l'aide de la densité apparente. Cependant, ce paramètre est insuffisant pour connaître la nature et la distribution de la taille des pores, responsables des variations de densité apparente lorsqu'elles sont enregistrées (Bruand *et al.*, 1993). Plusieurs auteurs ont utilisé la méthode de la porosimétrie au mercure pour évaluer la distribution de la taille des pores dont le diamètre est compris entre 400 et 0,006 μm et l'effet de la compaction sur la diminution du volume poral. En effet, l'utilisation de cette méthode a permis à Fiès et Bruand (1990) d'étendre aux sols argileux, la distinction entre la porosité texturale qui résulte de l'arrangement élémentaire des particules du sol et la porosité structurale, qui résulte quand à elle de l'action combinée de facteurs externes (climatiques, mécaniques et biologiques). Plusieurs recherches sur l'impact des opérations de travail du sol sur la porosité du sol, ont utilisée la méthode de la porosimétrie au mercure, pour analyser l'évolution de l'espace poral sous l'effet du compactage (Richard *et al.*, 2001).

Les travaux de recherche effectués en zone semi-aride marocaine, ont montré la nécessité de recourir à des systèmes agricoles utilisant le non travail du sol, afin d'améliorer la qualité du sol et stabiliser les rendements à long terme. Les résultats agro-économiques obtenus sur les systèmes de culture sous le système de non travail du sol montrent bien l'obtention de hautes et stables productivités à moindre coût en milieu semi-aride surtout pour les céréales (Mrabet, 1997). En effet, pendant les années sèches, le non travail du sol a permis un gain de rendement en blé tendre de 1,9 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ par rapport au labour conventionnel qui a présenté un rendement de 1,4 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ pour le même type de culture et en rotation continue (Bouzza, 1990).

D'autres recherches ont montré que le système de non travail du sol affecte également l'évolution de la qualité physique, chimique et biologique des sols. Cet effet peut être mesuré à partir des propriétés inhérentes du sol (Kacemi, 1992; Mrabet *et al.*, 2001b). Les résultats récents en zone semi aride Marocaine ont montré que la qualité physique et chimique des horizons superficiels du sol sont nettement améliorées sous le système de non travail du sol par rapport au labour conventionnel. Ainsi, une meilleure séquestration en matière organique a été enregistrée pour un sol argileux gonflant après 11 ans d'expérimentation. Le système de non travail du sol a permis un stockage de 3,36 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de carbone organique de plus que le système conventionnel (Mrabet *et al.*, 2001b). Un enrichis-

sement en azote et une légère baisse du pH de 0,45 unité par ailleurs ont été enregistré en surface après 11 ans d'expérimentation (de 8,25 en 1987 à 7,8 en 1998) (Mrabet *et al.*, 2001a). En régime de non travail du sol, la seule cause de variation d'état physique du sol reste la structuration naturelle sous l'effet des cultures, du type de gestion du sol (présence des résidus de récolte), de la variation d'humidité qui dépend de la fluctuation des conditions climatiques. Lahlou (1999) a montré que l'apport des résidus de récolte en condition de non travail du sol améliore la stabilité structurale d'un sol calcimagnésique vertique. Ainsi, ce même sol après 4 ans d'expérimentation présente un pourcentage d'agréats hydrostables plus élevé de 17 % par rapport au travail conventionnel (Lahlou et Mrabet, 2001).

Or, une étude détaillée des variations de porosité sous l'effet des pratiques culturales, n'a pas été réalisée jusqu'alors. La présente étude permet de discuter de façon plus approfondie les conséquences des systèmes utilisant le non travail du sol sur la porosité du sol. En effet, l'objectif principal de cette étude est d'analyser les modifications de la porosité d'un sol argileux gonflant, sous différents systèmes de culture et de travail du sol (conventionnel et non travail du sol) en zone semi-aride Marocaine (plaine de la Chaouia).

MATÉRIELS ET MÉTHODES

L'étude a été réalisée dans le domaine expérimental de Sidi El Aydi de l'Institut National de la Recherche Agronomique (latitude 33°00' N, longitude 09°22' W), situé à 15 Kilomètres au Nord de la ville de Settat dans la plaine de la Chaouia. Le sol est calcimagnésique à caractère vertique moyennement profond. Il est caractérisé par une structure faiblement développée, un « self mulch » de 5 cm en surface. Certaines propriétés physiques et chimiques de ce sol sont illustrées dans le *tableau 1*. La moyenne annuelle des précipitations est de 358 mm (Mrabet *et al.*, 2001b). Dans cette station, un site expérimental de longue durée a été installé en 1994 (Mrabet et Bouzza, 1994) dans le but d'évaluer l'effet des systèmes de labour et de la gestion des résidus de récolte sur la conservation de l'eau et la qualité du sol dans les zones semi arides du Maroc.

Dispositif Expérimental

Le dispositif expérimental est un « split plot » en bloc aléatoire incomplet, avec trois répétitions. Chaque grande parcelle, de 20 m de long et de 12 m de large, est subdivisée en 4 sous parcelles de 3 m de large et 20 m de long. La rotation est pratiquée en grande parcelle et le travail du sol en sous parcelle. Les rotations présentes dans cet essai sont Blé-Blé (BB), Jachère-Blé (JB); Jachère-Blé-Fourrage (JBO, le type de fourrage utilisé étant l'orge), Jachère-Blé-Maïs (JBM), Jachère-Blé-Lentille (JBL). Seules les rotations (BB), (JB) et (JBO) ont été considérées dans cette étude, ce sont les rotations culturales les plus utilisées par les agri-

culteurs Marocains et présentent des degrés d'intensification 100, 50 et 60 % respectivement dans la majorité des superficies cultivées en zones semi-arides.

Conduite de l'essai

Au cours des rotations céréalières, le blé, le fourrage et la lentille sont semés à l'aide d'un semoir commercial direct à doubles disques semeurs, simple disque ouvreuse et des roues tasseuses de marque « TYE ». Le maïs est semé avec un semoir non labour à socs « Buffalo ». Les dates et les doses de semis sont : blé (Achtar ou Tilila) : début novembre de chaque année à 120 kg.ha⁻¹ avec un espacement de 20 cm entre les lignes de semis, fourrage (mélange de vesce et d'avoine) : début novembre de chaque année à 100 kg.ha⁻¹, lentille (Bakria) : début novembre de chaque année à 60 kg.ha⁻¹ et un espacement de 40 cm et le maïs (variété Mabchoura ou Doukkalia) : fin février début mars de chaque année à 60 000 pieds.ha⁻¹.

Les apports de fertilisants ont été faits suivant les recommandations des laboratoires de science du sol du centre aridoculture (INRA, Settat). Au moment du semis, les différentes cultures reçoivent un apport de 75 kg.ha⁻¹ de nitrate d'ammonium et 50 kg.ha⁻¹ de phosphate supertriple. 50 kg d'urée sont apportés sur le blé au début du tallage et sur le maïs à la moitié du cycle.

En condition de non travail du sol, les stratégies de désherbage chimique qui ont été appliquées sont : une application de glyphosate à une quantité de 3-4 l.ha⁻¹ pour contrôler les mauvaises herbes avant le semis et en condition de jachère. Avant le semis, blé, fourrage et jachère sont traités avec le chlorosulfuron à 10 g.ha⁻¹. Le maïs et la lentille sont traités au moment du semis à la simazine avec un taux de 1,5 et 1 l.ha⁻¹ respectivement. L'utilisation de ces herbicides assure un contrôle adéquat long de la saison de croissance et en période de jachère.

Le travail du sol consiste en un travail conventionnel (Cover Crop (CC)) effectué en parcelle labourée ; c'est le labour primaire au pulvérisateur à disques (10 à 15 cm de profondeur) pour préparer les lits de semences et pour enfouir les résidus. Le non travail du sol (Semis Direct (SD)) consiste en une ouverture de 2 à 3 cm du sol pour placer la semence à 5 cm de profondeur, réalisé par un semoir spécial semis direct « TYE ».

Echantillonnage

Les prélèvements des échantillons du sol ont été effectués en juin 2002 à l'aide d'une pelle pour l'horizon de surface (0-5 cm) des parcelles sous rotations céréalières JB, BB et JBO. Ces échantillons ont été tamisés pour obtenir des agrégats de taille 3 à 5 mm. Au laboratoire, ces agrégats subissent une dessiccation à 105 °C pendant 24 heures. Ils sont ensuite placés dans les pénétromètres du porosimètre type « Micromeritics Pore Sizer 9310 » afin de déterminer la porosité de ces échantillons. Le principe de la porosimétrie au mercure consiste à déterminer le volume de mercure pénétrant dans un échantillon poreux, sec et dégazé, sous l'effet d'une pression crois-

Tableau 1 - Propriétés générales du sol à Sidi El Aydi en 1994 (Mrabet, 1997)

Table 1 - Typical properties of Sidi El Aydi Soil in 1994 (Mrabet, 1997)

Propriétés	Profondeur (0-200 mm)
Type de sol	Calcimagnésique Vertique
Argile %	51
Limon %	25
Sable %	24
pH (eau)	8,25
Carbone Organique g.kg ⁻¹	13
Calcaire g.kg ⁻¹	200
Capacité d'échange cationique (cmol Na ⁺ .kg ⁻¹)	50
Densité Apparente à sec (g.cm ⁻³)	1,28
Humidité à 0,3 bar (cm ³ .cm ⁻³)	0,39
Humidité à 15 bars (cm ³ .cm ⁻³)	0,20

sante (Fiès, 1984). L'injection de mercure est utilisée pour décrire la distribution de la taille des pores du sol. Pour chaque pression P (en kPa), on détermine un diamètre de pore équivalent D (en µm) en appliquant la loi de Laplace :

$$D = -4 \sigma (\cos \theta) / P$$

avec σ : tension superficielle du mercure (0,484 Nm⁻¹)

θ : angle de raccordement entre le mercure et la paroi du pore (130°) (Fiès, 1984).

On opère à des pressions P qui varient entre 4 à 2 000 KPa pour obtenir une distribution de la taille des pores de 360 à 0,006 µm. Dans cette étude, les volumes de mercure introduits dans les cellules sont mesurés à l'équilibre pour chaque pas de pression. Les résultats sont représentés sous la forme de courbes du volume cumulé de mercure introduit (mm³.g⁻¹) porté en ordonnée, en fonction du diamètre de pore équivalent (µm) en abscisse.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les courbes des figures 1, 2 et 3, mettent en évidence l'impact des techniques culturales sur la distribution des volumes poraux pour les horizons de surface (0-5 cm).

Pour les trois courbes, on peut distinguer deux volumes poraux distincts qu'on a nommés A et B (figures 1, 2 et 3). On a fixé une limite franche entre ces deux volumes poraux, variant entre 0,10 et 0,12 µm, variation qui n'est pas considérable vu que l'ensemble des échantillons a été pris sur le même site et présente une même constitution granulométrique (tableau 1). Ainsi, le volume poral A défini vers les pores de grande taille pourrait être

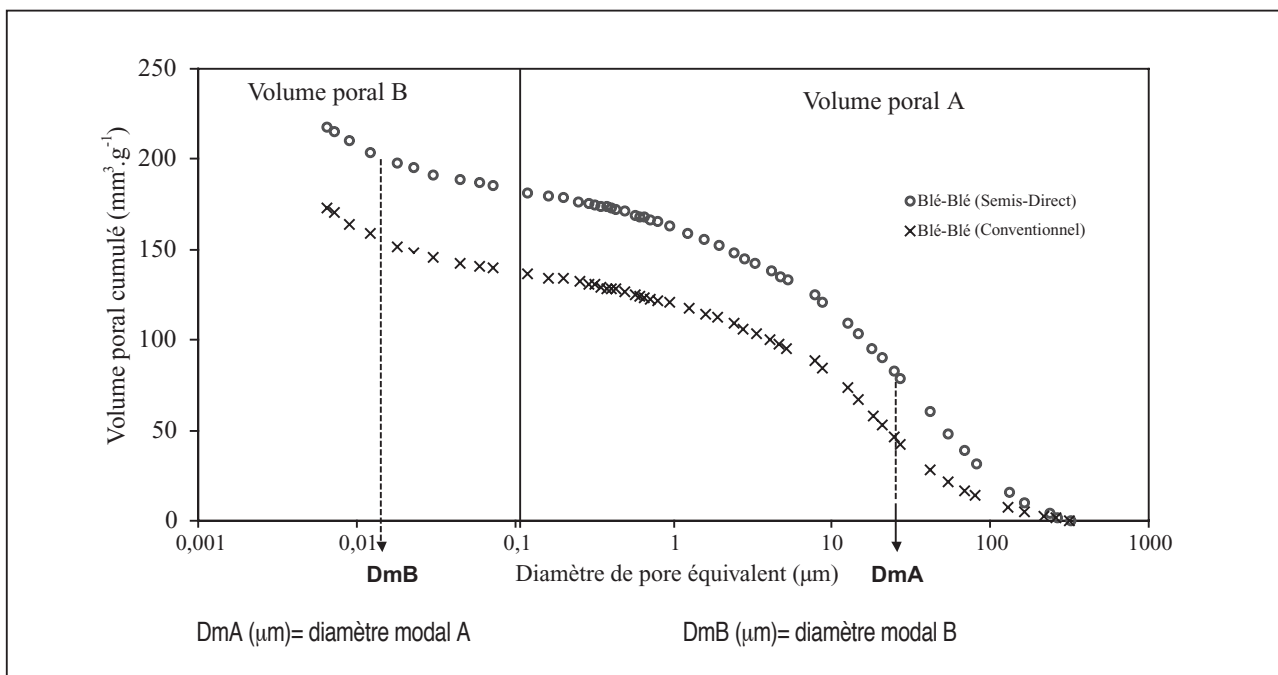
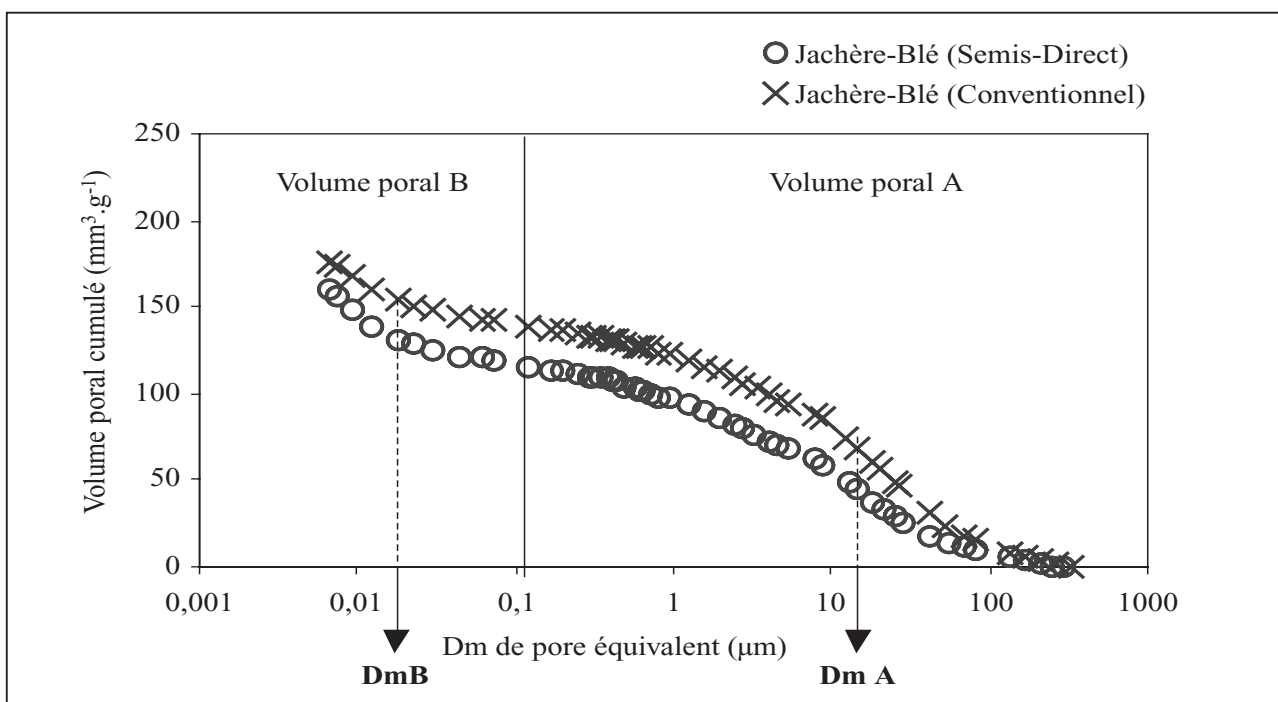
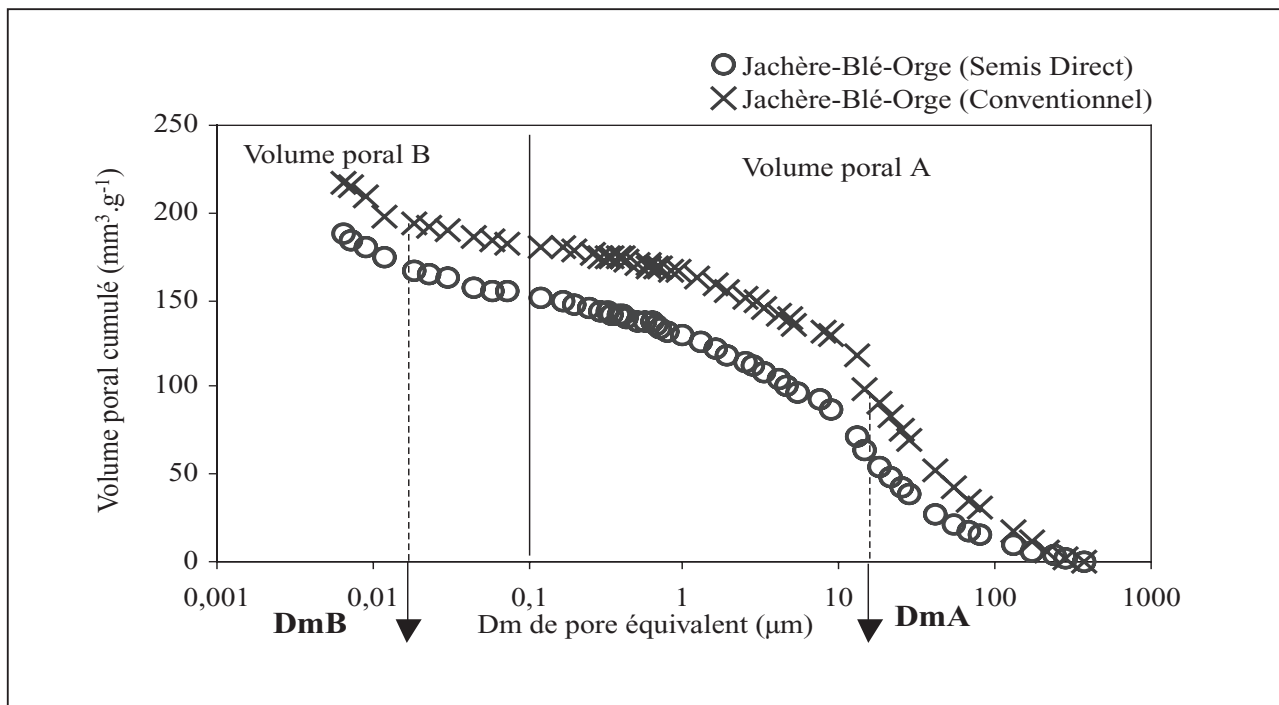
Figure 1 - Volume des pores mesurés par la porosimétrie au mercure pour la rotation continue Blé- Blé**Figure 1** - Volume of pores under continuous wheat rotation measured by mercury porosimetry**Figure 2** - Volume des pores mesurés par la porosimétrie au mercure pour la rotation biennale Jachère - Blé**Figure 2** - Volume of pores under Fallow-Wheat rotation measured by mercury porosimetry

Figure 3 - Volume des pores mesurés par la porosimétrie au mercure pour la rotation triennale Jachère-Blé-Orge**Figure 3** - Volume of pores under Fallow-Wheat-Barley rotation measured by mercury porosimetry

lié probablement à la porosité structurale fine engendrée par les fissures souvent présentes dans un sol argileux très smectitique. Le volume poral A varie pour l'ensemble des échantillons entre 116 (minimum enregistré pour la rotation JB Semis Direct) et 182 $\text{mm}^3.\text{g}^{-1}$ (maximum enregistré pour la rotation continue BB Semis Direct, *tableau 2*). Ce volume poral A représente donc 73 à 84 % du volume poral total des échantillons (les pores de diamètre $< 0,006 \mu\text{m}$ n'étant pas pris en compte). On distingue le volume poral B, qui correspond à des pores de plus petite taille représentant la porosité argileuse. Les valeurs du volume poral B mesurées pour l'ensemble des échantillons sont comprises entre 36 et 44 $\text{mm}^3.\text{g}^{-1}$, soit 16 à 27 % du volume total. Cette faible variation du Volume poral B valable pour tous les échantillons, est due à la teneur en argile qui est identique pour les trois parcelles (BB ; JB et JBO) (*tableau 1*).

On remarque que le volume poral A varie pour les trois types de rotations et sous les deux systèmes de travail du sol. Pour la rotation blé continue (BB) : le volume poral A est plus élevé sous le système non travail du sol (182 $\text{mm}^3.\text{g}^{-1}$) que sous le système conventionnel (136 $\text{mm}^3.\text{g}^{-1}$). Pour les deux autres rotations (JB) et (JBO), on remarque que le volume poral A est important sous le travail du sol par rapport au système semis direct. L'effet combiné du travail du sol et de la rotation n'est pas significatif pour ces deux types de rotations.

D'autre part, une étude de la densité apparente du sol entreprise dans le même site après 4 ans d'expérimentation, a révélé un effet significatif de la jachère chimique sur la densité apparente du sol (*tableau 3*) (Lahlou et Mrabet, 2001). Cette diminution de la densité apparente peut se traduire par une augmentation de la porosité totale du sol. En effet, Sanchez *et al.*, (1985) ont rapporté que pendant la période de la jachère, la structure du sol s'améliore, sa densité apparente diminue tandis que sa porosité, sa capacité de rétention et sa teneur en matière organique augmentent. Cependant, dans notre étude, l'introduction de la jachère chimique en rotation céréalière n'a pas eu d'effet significatif sur la porosité structurale du sol pour les horizons de surface. Ainsi, on enregistre un volume poral de 116 $\text{mm}^3.\text{g}^{-1}$ sous JB, plus faible par rapport à celui enregistré sous la rotation JBO et qui est de 152 $\text{mm}^3.\text{g}^{-1}$. On peut supposer que la diminution de l'introduction de la jachère en faveur d'une rotation céréalière intensive, ne peut qu'améliorer le taux de la matière organique et par suite la porosité du sol.

Dans le cas de la rotation blé continue (BB), l'effet combiné du non travail du sol et de la rotation céréalière continue a modifié la distribution de la taille des pores. En effet, l'augmentation de la teneur en matière organique sous la rotation (BB) aurait amélioré la porosité structurale fine du sol. Bessam (1999) a montré que la rotation continue Blé-Blé améliore le taux de matière organique le long du profil pour des échantillons prélevés sur le même essai de la sta-

Tableau 2 - Données porosimétriques obtenues d'après les courbes d'entrée de mercure (Essai de Sidi El Aydi)**Table 2** - Mercury porosimetry data of Sidi El Aydi Soil

	Volme poral total	Volume poral A		Volume poral B	
Références	VHg (mm ³ .g ⁻¹)	VA (mm ³ .g ⁻¹)	DmA (mm)	VB (mm ³ .g ⁻¹)	DmB (mm)
BB Conventionnel	173	136	27	37	0,018
BB Semis Direct	217	182	27	36	0,018
Moyenne	195	159	27	36	0,018
JB Conventionnel	177	139	12	37	0,018
JB Semis Direct	159	116	13	44	0,018
Moyenne	168	127	12	40	0,018
JBO Conventionnel	217	181	15	36	0,018
JBO Semis Direct	187	152	15	36	0,018
Moyenne	202	166	15	36	0,018

Vol. por. Total = VHg = volume poral total

DmA (μm)= diamètre modal A

DmB (μm)= diamètre modal B.

Tableau 3 - Influence de la rotation céréalière sur la densité apparente du sol après 4 ans d'expérimentation (Lahlou, 1999)**Table 3** - Soil bulk density as affected by wheat rotation after 4 years of experimentation

Profondeur	0-50 mm	50-100 mm
Rotations Céréalières	Densité Apparente (g.cm ⁻³)*	
Blé-Blé	1,55 A ^a	1,56 A
Jachère-Blé	1,51 A	1,56 A
Jachère-Blé-Orge	1,50 A	1,51 A

* : Densité Apparente mesurée par la méthode du cylindre de volume connu.

^a : Le test de la plus petite différence significative (LSD) a été utilisé pour différencier entre les traitements à un niveau de probabilité de 0,05 (SAS Institute, 1990).

tion expérimentale de Sidi El Aydi. Kay et Vandenbygaart (2002) ont rapporté que les différentes formes de matière organique stabilisent les pores et augmentent leur résistance aux différentes formes de stress.

Le travail conventionnel contribue globalement à accroître la porosité structurale du sol et ceci est représenté essentiellement dans les courbes d'entrée de mercure. La porosité texturale n'est pas affectée par le travail du sol. En effet, plusieurs auteurs ont conclu que les pratiques de labour affectent préférentiellement la porosité structurale du sol (Bruand *et al.*, 1993).

CONCLUSION

Les résultats de cette étude montrent que les variations de la porosité du sol enregistrées en fonction des façons culturales correspondent en partie à une variation du volume poral développé par des pores de très petite taille (pores de diamètre modal compris entre 12 et 27 μm) qui correspondent vraisemblablement à des microfissures souvent présentes dans un sol argileux

gonflant. Ces pores contrôlent plusieurs processus naturels (échanges hydriques, drainage, écoulements, enracinement... etc.) et restent sujets à des changements à court et long terme. L'introduction du non travail du sol (Semis Direct) dans les techniques agricoles a un effet significatif sur la porosité des horizons superficiels du sol. Cet effet est très prononcé sous la rotation céréalière intensive. Une réduction de l'utilisation de la jachère chimique en faveur d'une intensification de la rotation céréalière en régime de non travail du sol pourrait améliorer la porosité structurale du sol au niveau des horizons de surface.

Une étude de la variation du profil poral en profondeur doit être établie pour compléter la présente étude et avoir une vision globale sur l'évolution du système poral sous les différents systèmes de travail du sol et de management des cultures en zone semi-aride Marocaine.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la coopération franco-marocaine pour le financement de l'étude sur la structure des sols marocains en zone semi-aride dans le cadre du projet PRAD 01-08. Les équipes des laboratoires des Sciences du sol de l'Institut National de la Recherche Agronomique, Centre de recherche d'Orléans en France et l'Institut National de la Recherche Agronomique de Settat, sont remerciées pour leurs encadrements, leurs orientations et leurs contributions aux différentes analyses.

BIBLIOGRAPHIE

- Bessam F., 1999 - Influence des travaux du sol et management des cultures sur la matière organique et sa qualité. Diplôme des Etudes Supérieures Approfondies. Faculté des Sciences. Université Chouaib Doukkali, El Jadida Maroc. 84 p.
- Bruand A., D'acqui L.P., Nyamugafata P., Darhout R. et Ristori G.G., 1993 - Analysis of porosity in a tilled « crusting soil » in Zimbabwe, *Geoderma* Vol 59 : pp. 235-248.
- Bouzza A., 1990 - Water conservation in wheat rotations under several management and tillage systems in semiarid areas. Ph. D. Dissertation. University of Nebraska, Lincoln, NE USA. 200 p.
- Fiès J.C., 1984 - Analyse de la répartition du volume des pores dans les assemblages argile-squelette : comparaison entre un modèle d'espace textural et les données fournies par la porosimétrie à mercure, *Agronomie* Vol 4 : pp. 891-899.
- Fiès J.C. et Bruand A., 1990 - Textural porosity analysis of a silty clay soil using pore volume balance estimation, mercury porosimetry and quantified Backscattered electron scanning image (BESI), *Geoderma* Vol 47 : pp. 209-219.
- Kay B.D. et Vandenbygaart A.J., 2002 - Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter, *Soil and Tillage Research* Vol 66 : pp. 107-118.
- Kacemi M., 1992 - Water conservation, crop rotations, and tillage systems in semiarid Morocco. Ph.D. Dissertation. Colorado State University. Fort Collins, CO USA.
- Lahlou S. et Mrabet R., 2001 - Tillage influence on aggregate stability of a Calcixeroll soil in semiarid Morocco. *In* Proceedings of the I World Congress on Conservation Agriculture: a worldwide challenge. Madrid (Spain), pp. 249-254.
- Lahlou S., 1999 - La qualité physique du sol sous différents systèmes de travail du sol et de management des cultures en zones semi-arides Marocaines. Diplôme des Etudes Supérieures Approfondies. Faculté des Sciences, Université Chouaib Doukkali, El Jadida Maroc. 62 p.
- Mrabet R., Ibno-Namr K., Bessam F., and Saber N., 2001a - Soil chemical quality changes and implications for fertilizer management after 11 years of no-tillage wheat production systems in semiarid Morocco. *Land Degradation & Development*. 12 : pp. 505-517.
- Mrabet R., Saber N., El Brahli A., Lahlou S. et F Bessam., 2001b - Total, particulate organic matter and structural stability of a Calcixeroll soil under different wheat rotations and tillage systems in a semiarid area of Morocco, *Soil and Tillage Research* 57 : pp. 225-235.
- Mrabet R. et Bouzza A. 1994 - Conservation de l'eau sous différentes rotations céréalières et systèmes de gestion des résidus de récolte en semi-aride. INRA Internal Report. Aridoculture Centre.
- Mrabet R., 1997 - Crop residue management and tillage systems in a semiarid area of Morocco. Ph. D. Dissertation Colorado State University. Fort Collins, CO USA.
- McBride R.A., Martin H. et Kennedy B., 1989 - La compaction du sol. Fiche technique, Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, Ontario, Canada.
- Ouattara B., Sédogo M. P., Assa A., Lompo F., Ouattara K. et Fortier M., 1998 - Modifications de la porosité du sol après trente-trois années de labour d'enfouissement de fumier au Burkina Faso, *Cahiers Agricultures* Vol 7 : pp. 9-14.
- Richard G., Cousin I., Sillon J.F., Bruand A. et Guérif J., 2001 - Effect of compaction on the porosity of a silty soil : influence on unsaturated hydraulic properties, *European journal of soil science* Vol 52 : pp. 49-58.
- SAS Institute, 1990 - SAS/SAT Users Guide, version 6, 4th Edition, Vol.2. SAS Institute, Cary, NC.
- Sanchez P.A., Palm C.A., Davey C.B., Szott L.T. et Russell C.E., 1985 - Tree crops as soil improvers in the humid tropics. Attributes of trees as crop plants. *In*: Cannell MGR, Jackson JE (eds). Institute of Terrestrial Ecology, pp. 327-358.

PUBLICATIONS ET DOCUMENTS PUBLIÉS PAR L'AFES

REVUES

SCIENCE DU SOL

Revue scientifique publiée de 1952 à 1993.

Elle comporte 300 à 400 pages par an. Un index est présenté tous les ans dans le quatrième numéro.

A cessé de paraître fin 1993. Certains numéros disponibles.

LA LETTRE DE L'ASSOCIATION

Publiée quatre fois par an, ce journal annonce les nouvelles de l'association, les réunions nationales et internationales ; il donne des critiques d'ouvrages, de thèses, de la documentation, etc.

La Lettre est envoyée à chaque adhérent de l'association : elle accompagne l'adhésion.

Rédacteur en chef : F. Féder, CIRAD, La Réunion

ÉTUDE ET GESTION DES SOLS

Revue trimestrielle, francophone traitant de la connaissance et de l'usage des sols.

Rédacteur en chef : M. Jamagne.

Secrétariat de rédaction : Micheline Eimberck et J.P. Rossignol.

Le Comité Éditorial est composé de trente membres de France et de pays francophones.

OUVRAGES

LE LIVRE JUBILAIRE (1984)

Point sur les acquis à cette date en matière de science du sol et de pédologie.

FONCTIONNEMENT HYDRIQUE ET COMPORTEMENT DU SOL (1984)

PODZOLS ET PODZOLISATION

par D. Righi et A. Chauvel : ouvrage publié en coédition par l'AFES et l'INRA, avec le concours du CNRS, de l'ORSTOM, et de la région Poitou-Charentes (1987).

MICROMORPHOLOGIE DES SOLS/SOIL MICROMORPHOLOGY

par N. Fédoroff, L.M. Bresson, Marie Agnès Courty, publié par l'AFES avec le concours du CNRS, de l'INAPG, de l'INRA, du Ministère de l'Environnement et de l'ORSTOM (1985) (épuisé).

CARTE MONDIALE DES SOLS ET SA LÉGENDE

Présentée sous forme de deux diapositives (1984).

LE RÉFÉRENTIEL PÉDOLOGIQUE

Principaux sols d'Europe, deuxième édition 1995.

Ouvrage collectif publié par l'AFES et l'INRA.

SYNTHÈSE NATIONALE DES ANALYSES DE TERRE : PÉRIODE 1990-1994

par C. Walter, C. Schwartz, B. Claudot, P. Aurousseau et T. Bouedo, avec le concours du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche.

ACTES DU XVI^e CONGRÈS MONDIAL DE SCIENCES DU SOL, MONTPELLIER - AOÛT 1998