

## Effets du non labour et de la gestion des résidus sur la conservation de l'eau et la qualité d'un sol calcimagnésique dans les zones semi-arides Marocaines

### [ Influence of residus management in a no-till system on water conservation and soil quality under Moroccan semi-arid conditions ]

*Mohammed Belmekki<sup>1</sup>, Rachid Mrabet<sup>2</sup>, Mohamed El Gharous<sup>3</sup>, Rachid Moussadek<sup>2</sup>, Oumaima Iben Halima<sup>3</sup>, Mohamed Boughlala<sup>3</sup>, and Bouchaib Bencharki<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Faculté des sciences et techniques de Settat, UFR: G. R. N. C, Université Hassan I, 26000 Settat, Maroc

<sup>2</sup>Institut National de la Recherche Agronomique, BP 415, 10101Rabat, Maroc

<sup>3</sup>Centre Régional de la Recherche Agronomique de Settat, 26000 Settat, Maroc

Copyright © 2014 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** In Morocco, water scarcity is a major factor limiting agricultural production. Water shortage is accentuated by soil quality depletion exaggerated by intensive cropping and tillage systems that cause a decline in soil fertility, structure and organic matter. No-tillage system (NT) has been proposed as a viable alternative to conventional tillage (CT) to improve the soil quality and ensure water conservation. The aim of the present study was to evaluate tillage effects on soil moisture, soil organic matter (SOM) and soil aggregate stability in a Calcixeroll soil under three tillage treatments: conventional tillage system (CT), NT system with crop residues removed (NT0), and NT with 50% of crop residues returned to the soil surface (NT 50). Our results showed that residue cover combined with no-tillage (NT 50) has significantly increased the levels of SOM at the top 100 mm soil layer compared to CT and NT0. The results also indicate that soil water content in the three studied layers (0-50, 50-100 and 100-300 mm) was higher for NT. The performance of soil aggregates was better with regard to the different stresses caused by the mechanical tests. This usually leads toward soil consolidation and increasing the soil resistance to wind and water erosion. We conclude that the increased yield associated with no-tillage system can be explained by both better water conservation and soil quality improvement.

**KEYWORDS:** No-Tillage, soil quality, crop residue, soil moisture, soil organic matter, aggregate stability.

**RESUME:** Au Maroc, La disponibilité des ressources en eau devient un défi majeur et menace sérieusement les systèmes de production céréalière des zones semi arides. Cette situation s'aggrave à la fois par l'état dégradé des sols et par l'utilisation des pratiques culturales inadaptées (travail du sol intensif, surpâturage, exportation de résidus...). Pour limiter ces phénomènes et raisonner avec le concept d'une agriculture durable, l'Agriculture de Conservation à base de semis direct a prouvé son efficacité pour arrêter la baisse de la fertilité des sols et de compenser les effets négatifs futurs des changements climatiques. Cet article traite l'effet de trois pratiques culturales (le labour conventionnel (LC), le semis direct sans résidus de culture (SD0) et avec 50% de résidus (SD50)) sur les propriétés d'un sol calcimagnésique notamment l'humidité, la matière organique (MO) et la stabilité structurale. Les résultats ont montré que ces indicateurs de la qualité du sol ont révélé des différences sur les trois modes de travail de sol: le SD couplé aux résidus a eu un impact positif sur les horizons étudiés (0-50, 50-100 et 100-150 mm), marqué par un taux élevé d'humidité et une meilleure teneur en MO surtout pour les deux premiers horizons. Ceci a pour conséquence direct l'amélioration de l'état structural du sol qui se traduit par une résistance des agrégats de surface face aux différents mécanismes de désagrégation, ce qui offre une possibilité de réduire l'érosion

éolienne et hydrique. En conclusion, l'augmentation des rendements sous système du SD peut s'expliquer à la fois par une meilleure conservation de l'eau et l'amélioration de la qualité des sols.

**MOTS-CLEFS:** Semis direct, qualité du sol, résidus de culture, stabilité structurale, matière organique, humidité.

## 1 INTRODUCTION

Caractérisé par une pluviométrie contrastée et irrégulière, marquée par des années de sécheresse plus longues, le Maroc est soumis à un fort stress hydrique [18]-[12]. L'agriculture, l'un des secteurs importants pour le pays en termes de croissance économique (environ 20% du Produit Intérieur Brut [13]) reste à la merci des aléas climatiques. Cette situation s'amplifie à la fois par la fragilité des sols agricoles dont 90% se situent dans les zones semi-arides et arides [30] et directement ou indirectement par des modes agricoles inadéquats [23]-[28]. En effet, l'utilisation abusive et inappropriée de matériels de travail du sol dans les exploitations agricoles, le surpâturage et l'exportation des résidus de récolte et des chaumes ont généré des conditions favorables à la baisse du taux de la matière organique des sols, à la dégradation de leur état structural [5] et par conséquent au déclin de leur fertilité [20]-[27]. En d'autres termes, l'agriculture traditionnelle basée sur le labour intense et le travail du sol a montré son inadaptation aux nouvelles données climatiques et économiques et son incapacité de répondre aux principales questions relatives à la conservation des sols et de l'eau [29].

Pour remédier à cette situation inquiétante, le semis direct, pilier de l'agriculture de conservation est proposé comme une démarche agronomique crédible qui vise à améliorer la qualité des ressources naturelles, et à fournir une production agricole abondante et plus stable [2], [11]-[31]. En effet, l'agriculture de conservation, basée sur trois principes: la non perturbation des sols, la conservation des résidus de culture en surface, la diversification des cultures en association et/ou dans la rotation, constitue une solution cohérente face aux problèmes relatifs à l'agriculture Marocaine [21]. Bien que, les recherches effectuées dans les milieux semi-arides marocains ont montré que cette approche culturale augmente la rentabilité de production des sols d'une année à l'autre, elle reste peu adoptée au Maroc (moins de 4000 hectares [3]). La performance de la production sous semis direct est due essentiellement à l'évolution de l'état hydrique du sol à travers le maintien des résidus à la surface du sol [22]-[26] et à la restauration de son état structural [7], [9]-[10]. C'est dans ce contexte que s'inscrit le présent travail. Il s'insère dans une étude plus large développée par le Centre Régional de la Recherche Agronomique de Settat visant à l'évaluation des effets de différents systèmes de travail du sol et de la gestion des cultures sur les paramètres de fertilité des sols, particulièrement l'humidité, la matière organique et la stabilité structurale. Ainsi, les objectifs assignés à notre travail sont: (i) étudier l'effet de trois techniques culturales (travail conventionnel, semis direct sans ou avec 50 % des résidus de récolte sur la conservation de l'eau dans le sol; (ii) déterminer l'impact de la gestion des résidus sous SD sur l'accumulation de la MO et (iii) évaluer la résistance des agrégats du sol face aux différents tests simulant l'action de l'érosion hydrique et éolienne.

## 2 MATERIELS ET METHODES

### 2.1 LE SITE D'ETUDE

Le terrain expérimental est situé à la station de Sidi El Aydi du Centre Régional de la Recherche Agronomique de Settat, (latitude 33° 00'N, Longitude 09°22W), au sud de Casablanca (environ 45 Km). Le sol est un calcimagnésique à caractère vertique moyennement profond avec des taux d'argile de 51%, de limon de 28% et de sable de 21%. Les teneurs en MO varient entre 2 et 2,4% pour les 60 centimètres supérieurs. Le pH est alcalin (de 8,2 à 8, 4) et des valeurs de la densité apparente qui oscillent entre 1,19 et 1,44. Le climat est semi-aride à hiver froid caractérisé par une moyenne des précipitations annuelles à long terme de 358 mm [25]. L'essai mis en place en 1987 est un dispositif en split plot (bloc aléatoire incomplet) avec trois répétitions. La rotation est pratiquée en grande parcelle (20 m de long et de 12m de large), avec trois niveaux : blé-blé (BB), jachère-blé (JB), jachère-blé-orge (JBO). Chaque grande parcelle, est subdivisée en quatre parcelles élémentaires (3 m de large et 20 m de long), dont une est labourée au pulvérisateur à disques et trois sont semées directement.

### 2.2 TRAVAIL DU SOL ET GESTION DES RESIDUS

Les techniques de travail comparées sont: le labour avec un travail du sol au pulvérisateur à disque (10 à 15 cm de profondeur) et le semis direct qui 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. La jachère est entretenue mécaniquement dans les parcelles labourées, par contre elle est entretenue par désherbage chimique en condition de non labour.

Pour étudier l'effet de la gestion des résidus de récolte sur les propriétés du sol sous semis direct, les trois sous parcelles ont été soumises à trois niveaux de résidus: à la récolte et dans la première sous parcelle, l'ensemble des résidus a été enlevé (SD0), dans l'autre sous parcelle, la totalité des résidus de récolte enlevée a été retournée et laissée en surface (SD100) alors que dans la troisième sous parcelle, uniquement la moitié des résidus récoltés a été maintenue en surface du sol (SD50). Dans le présent article seulement deux niveaux de résidus (SD0 et SD50) ont été étudiés.

## **2.3 SEMIS ET FERTILISATION**

Au cours des rotations céréalières, le blé (variété Achtar ou Titila) et le fourrage (mélange de vesce et d'avoine) sont semés à l'aide du semoir direct à double disques semeurs, caractérisé par un simple disque ouvreur et des zones tisseuses. Ce semoir permet des espacements de 25 cm entre les lignes. Les dates et les doses de semis sont : Blé: début Novembre de chaque année à 120 Kg ha<sup>-1</sup>, Fourrage: début Novembre de chaque année à 100 Kg ha<sup>-1</sup>.

Les apports de fertilisants sont appliqués chaque année et dont les quantités sont déterminés sur la base des recommandations des laboratoires des analyses du sol du Centre Régional de la Recherche Agronomique de Settat. Au moment du semis, les différentes cultures reçoivent un apport de 75 Kg ha<sup>-1</sup> de Nitrate d'ammonium et 100 Kg ha<sup>-1</sup> de phosphate super triple. 50 Kg ha<sup>-1</sup> d'urée sont apportés au blé au début du tallage.

## **2.4 CONTROLE DES MAUVAISES HERBES ET TRAITEMENT PHYTOSANITAIRE**

En condition de non travail du sol, les stratégies de désherbage chimique sont assurées par l'application de glyphosate à une dose de 3 à 4 l ha<sup>-1</sup> pour contrôler les mauvaises herbes avant le semis et en condition de jachère. Le chloro-sulfuron à 10g ha<sup>-1</sup> est appliqué avant le semis pour le blé, le fourrage et la jachère. Dans les parcelles soumises au labour conventionnel, le contrôle mécanique des adventices est réalisé au pulvérisateur à disques avant le semis du blé et d'orge et au mois de mars pour la jachère travaillée. Le Carbofuran (insecticide) est employé à l'ordre de 25 Kg ha<sup>-1</sup> au semis, dans le but de lutter contre la cécidomyie (mouche de Hess). Pour lutter contre les maladies foliaires des céréales, un traitement fongique préventif à base de Propiconazole est appliqué à une dose de 0,5 lha<sup>-1</sup>.

## **2.5 LES METHODES D'ANALYSES**

### **2.5.1 L'HUMIDITE**

Le taux d'humidité d'un sol détermine les caractéristiques de diffusion ou de stockage de l'eau dans ce sol. Il est évalué selon la méthode gravimétrique décrite par Gardner [33]. La procédure consiste à sécher (passer dans une étuve à 105 °C pendant 48 heures) l'échantillon du sol et connaître ensuite par pesée finale (ramenée à la pesée initiale) le poids d'eau contenu par l'échantillon. Ces mesures d'humidité ont été réalisées au semis et dans les jachères.

$$\theta_g = (P_{\text{hum}} - P_{\text{sec}}) / P_{\text{sec}}$$

Avec :  $\theta_g$  : humidité gravimétrique (g/g),  $P_{\text{hum}}$  : le poids humide (g) et  $P_{\text{sec}}$  : poids du sol sec obtenu après séchage (g)

### **2.5.2 LA STABILITÉ STRUCTURALE**

Pour les trois horizons échantillonnés (0-50, 50-100 et 100-150 mm) issus des trois traitements (LC, SD0 et SD50), la stabilité structurale à sec a été déterminée par la méthode de tamisage à sec décrite par Youker et McGuinness [19]. Une prise de 150 g de chaque échantillon, séchée à l'air libre, est mise dans une colonne de tamis de mailles 10, 8, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0.5 et < 0.5 mm, animée d'un mouvement à 1440 vibrations/min. Le refus de chaque tamis est pesé ( $w_i$ ). L'indice de stabilité à sec est défini par le diamètre moyen pondéral (DMP, mm) calculé à partir de la formule suivante :

$$\text{DMP} = \sum X_i * W_p$$

Avec:  $X_i$ : diamètre moyen de deux classes de tamis successifs et  $W_p$  : masse des agrégats correspondant à chaque classe  $W_i$  / 150.

Concernant la stabilité structurale à l'eau, seulement les échantillons de surface (0-50 mm) ont été prélevés dans les trois traitements afin d'étudier la stabilité des agrégats selon la méthode proposée par Le Bissonais [34]. Cette méthode

permet d'évaluer la sensibilité des sols à la battance et à l'érosion hydrique à partir de trois mécanismes de désagrégation qui se différencient par les conditions d'interaction eau/sol. Les échantillons ont été séchés à l'air libre, puis tamisés à sec dans le but de récupérer la fraction 3-5 mm qui a été ensuite séchée à l'étuve à 40°C pendant 48 heures. Ces agrégats ont ensuite subi l'action de trois tests hydriques:

- **Test d'humectation rapide par immersion dans l'eau (HR)**

Ce traitement consiste à immerger les agrégats dans l'eau distillée. Ceci permet de tester le comportement des matériaux secs soumis à des humectations brutales du type pluie intense. Il s'agit d'un mécanisme d'éclatement, désagrégation par compression de l'air lors de l'humectation. Le protocole expérimental suivi pour réaliser ce test consiste à mettre en contact environ 5 g d'agrégats avec 50 ml d'eau distillée dans un bécher pendant 10 minutes, cette opération est suivie d'un tamisage à 50 µm dans l'éthanol pour fixer le premier état de désagrégation.

- **Test d'humectation lente par capillarité (HL)**

Ce traitement consiste à humidifier lentement les agrégats de manière à éviter le phénomène d'éclatement. Ceci permet de tester le comportement de matériaux secs à des pluies modérées. Il est moins destructif que l'humectation rapide et permet donc de discriminer des sols peu stables. 5 g d'agrégats sont disposés sur un papier "filtre" posé sur une table à succion. Après 60 minutes d'humectation des agrégats par capillarité, ces derniers sont transférés sur le tamis de 50 µm immergé dans l'éthanol.

- **Test de désagrégation mécanique par agitation après réhumectation (DM)**

Ce traitement permet de tester la cohésion des agrégats à l'état humide outre que l'éclatement; environ 5 g d'agrégats ont été immergés dans l'éthanol pendant 30 minutes, puis transférés dans un erlenmeyer contenant l'eau distillée, l'ensemble a été soumis à 10 retournements sur un agitateur rotatif. Après 30 minutes de repos, les agrégats résultants sont transférés sur un tamis de 50 µm immergé dans l'éthanol.

Les agrégats issus de ces trois tests subissent ensuite une procédure identique qui se fait en deux étapes. La première étape consiste à appliquer cinq fois un mouvement hélicoïdal au tamis de 50 µm immergé dans l'éthanol sur lequel on a disposé l'échantillon désagrégé, afin d'effectuer une première séparation granulométrique. La fraction > 50 µm a été transférée dans une coupelle en verre pour être séchée à 40°C pendant 48 heures. Après séchage, cette fraction (> 50 µm) est passée sur une colonne de six tamis de maille décroissante (2000, 1000, 500, 200, 100 et 50 µm). Après 20 basculements latéraux de cette colonne, les agrégats restant sur chacun des tamis sont pesés et la fraction < 50 µm est obtenue par déduction par rapport au poids initial. Le résultat s'exprime sous forme de diamètres moyens pondéraux (DMP, mm) selon la formule ci-après:

$$DMP = \sum (\% \text{ de la fraction par rapport au poids total} \times \text{diamètre moyen de la fraction}).$$

### 2.5.3 LA MATIÈRE ORGANIQUE

La matière organique du sol, grâce à ses propriétés chimiques, joue un rôle primordial dans le fonctionnement des agrosystèmes et constitue une composante importante de la fertilité des sols [8]. Le taux de la MO a été évalué sur les trois horizons (0-50, 50-100 et 100-150 mm) selon la méthode de Walkey & Black [4], pour 1g de sol broyé et tamisé à 0,2 mm. Les résultats de la MO du sol ont été exprimés en pourcentage.

### 2.6 ANALYSES STATISTIQUES

La procédure GLM (modèle linéaire général) du logiciel SAS version 2009, a été utilisée pour les analyses statistiques des différents paramètres du sol et pour chaque profondeur. Les analyses statistiques consistent en une analyse de la variance pour évaluer l'effet du labour et des résidus sur les paramètres de la qualité du sol. Les différentes mesures effectuées ont fait l'objet de comparaisons multiples des moyennes selon le test de Duncan au seuil de 5%.

### 3 RESULTAT ET DISCUSSION

#### 3.1 L'HUMIDITE DU SOL

La conservation de l'eau comme son utilisation efficace sont les éléments clés de l'agriculture pluviale. Le choix d'une technique de travail du sol repose essentiellement sur son aptitude à permettre au sol de stocker l'eau et la rendre disponible aux racines particulièrement dans les climats à faible pluviométrie [35].

La disponibilité de l'eau dans les 15 premiers centimètres du sol reflète la distribution des précipitations au cours de la période de mesure. Cependant, l'intensité de cette disponibilité est fonction de la profondeur échantillonnée et le travail du sol. Pour l'horizon de surface (0-50 mm), l'humidité a enregistré les valeurs : 0,10, 0,13 et 0,16 g/g, alors que, pour les autres profondeurs (50-100 et 100-150 mm), les valeurs oscillent entre 0,12 et 0,17 g/g (Fig. 1).

Le sol cultivé en SD garde plus d'humidité que le LC surtout en présence des résidus SD50. Les parcelles non labourées présentent une humidité qui augmente de 13% en surface jusqu'au 17% en profondeur, ce qui montre que cette technique culturale permet une meilleure économie de l'eau en zone à faible pluviométrie. L'amélioration de la capacité de stockage d'eau sous SD est due à la présence des résidus en surface, ce qui permet d'atténuer les phénomènes d'évaporation [16] et de maintenir l'humidité résiduelle de la saison des pluies dans les horizons de surface [29]. Alors qu'avec le LC, les résidus sont enfouis et la surface exposée du sol est nettement plus grande, ce qui entraîne une plus grande évaporation d'eau de l'horizon supérieur [1].

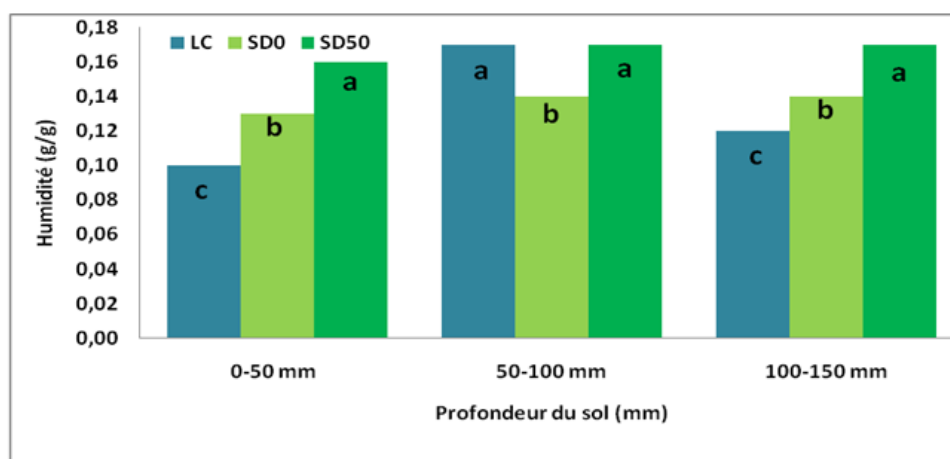


Fig. 1. Effet des trois pratiques culturales (LC, SDO et SD50) sur l'humidité en g/g. Les traitements ayant la même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de Duncan ( $P < 0,05$ ).

#### 3.2 LA MATIERE ORGANIQUE

La matière organique (MO) joue un rôle important dans le fonctionnement global du sol au travers de ses composantes physiques, biologiques et chimiques, qui ont des conséquences majeures pour la fertilité des sols. La céréaliculture Marocaine est généralement conduite avec le labour et l'exportation de la biomasse sans aucun apport d'amendement organique, ce qui entraîne une diminution de la matière organique dans le sol et une répercussion sur l'agrégation, la stabilité de la structure et sur la sensibilité à l'érosion [30].

L'effet du travail du sol sur le taux de la MO est significatif au niveau des deux premières couches (0,50 et 50-100 mm). En comparaison avec le LC et le SDO, le SD50 favorise l'accumulation de la MO dans l'horizon de surface sans appauvrissement en cet élément en profondeur (Fig. 2). Alors que dans la couche profonde, les trois pratiques culturales ne semblent pas induire d'importantes modifications sur la séquestration de la MO. Ces résultats rejoignent ceux de Mrabet et al [27] et Moussadek et al [22]. Ces derniers auteurs ont trouvé qu'au bout de 7 ans seulement, la teneur en MO a augmenté de 69% dans un vertisol jusqu'à 70 mm de profondeur sous SD avec résidus par rapport au LC.

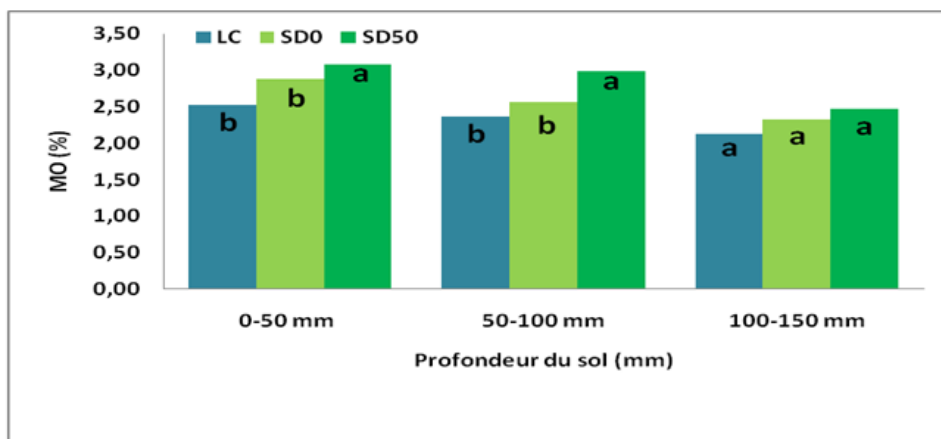


Fig. 2. Effet des trois pratiques culturales (LC, SD0 et SD50) sur la teneur en MO en %. Les traitements ayant la même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de Duncan ( $P < 0,05$ ).

### 3.3 LA STABILITÉ STRUCTURALE

La stabilité structurale, classiquement utilisée comme indicateur de la qualité du sol est influencée par les pratiques culturales [14]. La plupart des méthodes de mesure de la stabilité structurale testent la stabilité des agrégats de sol vis-à-vis d'un stress. Avec le tamisage à sec la seule contrainte appliquée aux agrégats est celle du tamisage, alors que dans le tamisage humide, les échantillons sont exposés à l'extinction. Par conséquent, le diamètre moyen pondéral (DMP) des agrégats mesuré après tamisage à sec est généralement plus grand par rapport à celui obtenu après tamisage humide [36].

#### 3.3.1 LA STABILITÉ A SEC

Dans les deux premières couches (0-50 et 50-100 mm), le SD couplé à une couverture de résidus de récolte (SD50) favorise la stabilité à sec, avec un effet significatif par rapport aux autres techniques culturales (SD0 et LC) (Fig. 3). La particularité du SD d'assurer au sol une structure stable est étroitement liée à la présence des résidus en surface, ce qui permet de limiter le dessèchement de la couche arable et protéger par suite les particules fines du sol contre le vent [17]. En profondeur (100-150 mm), les parcelles labourées et non labourées sont de même niveau d'agrégation. Cet intérêt à utiliser le SD pour améliorer l'agrégation des sols a été souligné par Lahlou et Mrabet [32] et Saber et Mrabet [15]. Ces auteurs ont trouvé une importante amélioration de l'agrégation d'un sol argileux, mesuré en termes de pourcentage d'agrégats secs.

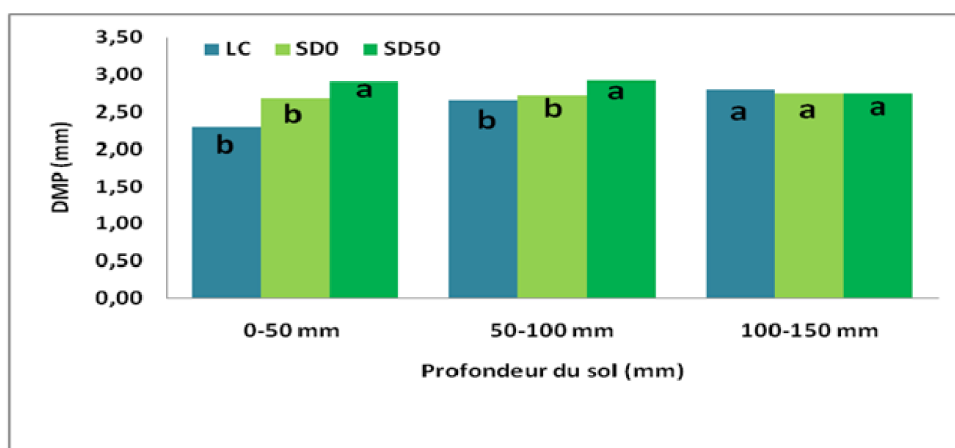


Fig. 3. Effet des trois pratiques culturales (LC, SD0 et SD50) sur le DMP en mm. Les traitements ayant la même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de Duncan ( $P < 0,05$ ).

### 3.3.2 LA STABILITÉ A L'EAU

Il ressort des différents résultats que les agrégats de surface issus des trois techniques culturales résistent mal lorsqu'ils sont soumis à une humectation rapide (éclatement). Les valeurs de DMP (0,37 à 0,41mm) présentées par ce test destructeur sont les plus faibles comparativement aux autres tests (Fig. 4). Les résultats de ce test indiquent qu'il faut plus de temps dans les conditions semi-arides du Maroc pour que le sol sous SD accumule suffisamment de MO afin qu'il puisse résister au phénomène de l'éclatement [9]-[22].

Pour le test d'humectation lente qui simule l'effet des pluies modérées, les agrégats en SD (avec ou sans résidus) ont un comportement stable (DMP > 1,3 mm) que ceux issus des parcelles labourées (DMP=1,27 mm). Ceci montre que la manipulation du sol avec les outils du travail du sol est plus dégradante, lors d'une humectation lente, qu'une simple élimination du labour sans maintien des résidus SD0.

Le test de la désagrégation mécanique fait ressortir que la stabilité des agrégats est supérieure en SD50 qu'en SD0 et LC, il s'est avéré que le maintien des résidus à la surface du sol sous SD améliore la résistance du sol contre l'impact des gouttes de pluie et réduit considérablement leur fragmentation [6].

En référence aux normes établies par Le Bissonais [34], le sol, avec des valeurs de DMP < 0,4 mm, est considéré très instable quand il est soumis à une humectation rapide avec risque important et permanent du ruissellement et d'érosion quelque soit la technique culturale adoptée. Pour le test d'humectation lente, le sol sous SD est considéré stable avec risque limité d'érosion (DMP > 1,30 mm). Par contre les sols labourés ont une structure instable voir très instable vis-à-vis des différents tests hydriques avec risque fréquent du ruissellement et d'érosion. Ces résultats rejoignent ceux obtenus par Belmekki et al. [10] qui ont rapporté que le SD améliore la résistance des agrégats du sol face à la désagrégation causée par l'énergie cinétique des gouttes d'eau et par le gonflement-retrait des argiles lors de l'humectation lente.

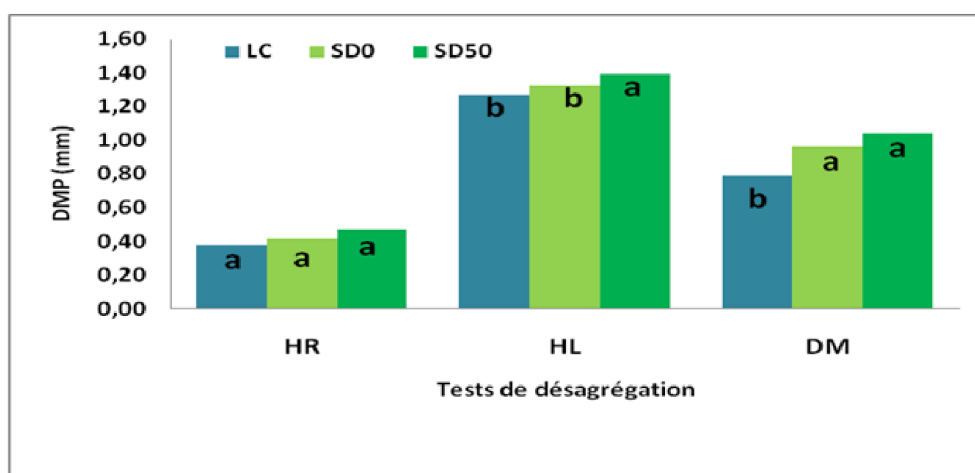


Fig. 4. Effet des trois pratiques culturales (LC, SD0 et SD50) sur le DMP des agrégats de surface (0-50 mm) en mm soumis à trois tests de désagrégation (humectation rapide (HR), humectation lente (HL) et désagrégation mécanique (DM)). Les traitements ayant la même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de Duncan ( $P < 0,05$ ).

## 4 CONCLUSION

Les résultats obtenus sur les parcelles expérimentales montrent que le labour de conservation appliqué en continu sur plusieurs années, constitue un système potentiel d'amélioration de la qualité des sols et un outil d'adaptation au changement climatique à travers une meilleure utilisation des ressources en eau en terme de quantité, notamment avec le retour à la surface du sol de 50 % de résidus de culture (SD50) et une accumulation remarquable de la MO dans les cinq centimètres supérieurs du sol sans appauvrissement des autres profondeurs.

Les conséquences du stockage de la MO sous SD50 ont affecté positivement l'état structural du sol qui se traduit par une résistance des agrégats de surface face aux différents tests de désagrégation, ce qui permet de réduire fortement l'érosion éolienne et hydrique. Par contre la manipulation du sol avec les outils du travail du sol (LC) est plus dégradante qu'une simple élimination du labour sans maintien des résidus SD0.

Malgré ces avantages (agronomiques, économiques et environnementaux), l'adoption de l'agriculture de conservation par les agriculteurs marocains est confrontée à plusieurs obstacles (compétition entre culture et élevage pour la consommation de résidus, équipements chers, manque de connaissance sur l'AC...), ce qui impose aux décideurs à mettre en œuvre une stratégie agricole judicieuse capable d'accélérer la pénétration de ces pratiques à travers des changements majeurs à la fois des itinéraires techniques et de la gestion de l'exploitation agricole.

## REFERENCES

- [1] A. Chervet, L. Ramseier, and W.G. Sturny, "Humidité du sol en semis direct et sous labour", *Revue suisse Agric.*, Vol. 38, no. 4, pp. 185-192, 2006.
- [2] A. Kassam and H. Brammer, "Combining sustainable agricultural production with economic and environmental benefits", *The Geographical Journal*, Vol. 179, no.1, pp. 11-18, 2013.
- [3] A. Kassam, T. Friedrich, R. Derpsch, L. Lahmar, R. Mrabet, G. Basch, E. J. González-Sánchez, and R. Serraj, "Conservation agriculture in the dry Mediterranean climate", *Field Crops Research*, Vol. 132, pp. 7–17, 2012.
- [4] A. Walkley and I. A. Black, "An Examination of the Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method", *Soil Science*, Vol. 37, no. 1, pp. 29-38, 1934.
- [5] K. Fikri, M. Ismaili, B. S. Fikri, and A. Tribak, "Problèmes de dégradation de l'environnement par la désertification et la déforestation. Impact du phénomène au Maroc", *Science et changements planétaires. Sécheresse*, Vol. 15, no. 4, pp. 307-320, 2004.
- [6] E. Roose., D. Blavet., M. Sabir., T. Ouagga., A. Cheggour., V. Simonneaux., R. Oliver., H, Ferrer., J. Louri., et J.L. Chotte, *Influence de l'utilisation d'un sol brun vertique sur les stocks de carbone du sol, les risques de ruissellement et d'érosion et le devenir du carbone érodé (bassin de l'oued Rheraya, Haut-Atlas, Maroc)*, In: Roose, E. and J. Albergel (Eds.), *Efficacité de la GCES en milieux semi-aride*, Paris, France: AUF, EAC et IRD éditeurs, pp. 317-324, 2008.
- [7] F. Bessam and R. Mrabet, "Long-term changes in soil organic matter under conventional tillage and no-tillage systems in semiarid Morocco", *Soil Use and Management*, Vol. 19, no. 2, pp.139–143, 2003.
- [8] J. Balesdent, "Un point sur l'évolution des réserves organiques des sols en France", *Etude et Gestion des Sols*, Vol. 3, no. 4, pp. 245-260, 1996.
- [9] M. Belmekki, M. El Gharous, O EL Gharras , M. Boughlala, O. Iben Halima, M. Boughlala, , and B. Bencharki, "Tillage effects on basic properties of an calcaeous soil under moroccan semi-arid climate", *International Journal of Advanced Research in Engineering & Technology (IJARET)*, Vol. 5, No. 3, pp. 130-146, 2014.
- [10] M. Belmekki, R. Mrabet, R. Moussadek, O. Iben Halima, M. Boughlala, M. El Gharous, and B. Bencharki, "Impact des pratiques agricoles sur la stabilité structurale et la matière organique du sol dans les zones semi-arides Marocaines", *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 4 No. 2, pp. 322-333, 2013.
- [11] M. Griffon, *Qu'est ce que l'agriculture écologiquement intensive?*, Quae Ed. Versailles France, 2013.
- [12] M. Sinan, *Evaluation des Besoins en Technologies d'Adaptation du Maroc aux Changements Climatiques. Plan d'Action Technologique des secteurs de l'eau et de l'agriculture du Maroc*, Ed. Ministère de l'énergie, des mines, de l'eau et de l'environnement. Maroc, 2012.
- [13] N. Akasbi, "Evolution et perspectives de l'agriculture marocaine". In: Editions Maghrébines, *Rapport 50 ans du développement humain et perspectives 2025*, Casablanca, pp, 85-198, 2006.
- [14] N. Bottinelli, *Evolution de la structure et de la perméabilité d'un sol en contexte de non labour associé à l'apport d'effluent d'élevage: rôle de l'activité lombricienne*. Thèse de doctorat. Sciences de l'environnement, Rennes, France. 152p, 2010.
- [15] N. Saber et R. Mrabet, " Influence du travail du sol et des rotations de culture sur la qualité d'un sol argileux gonflant en milieu semi-aride Marocain", *Etude et Gestion des Sols*, Vol. 9, no. 1, pp, 43-53, 2002.
- [16] P. R. Ward, K.C. Flower, N. Cordingley, C. Weeks, and S.F. Micin, "Soil water balance with cover crops and conservation agriculture in a Mediterranean climate", *Field Crops Research*, Vol. 132, no. 1, pp. 33-39, 2012.
- [17] R. Ait Cherki, *Comportement physique du sol sous différents systèmes de labour et de rotations céréalières en milieu semi-aride Marocain*. Diplôme des Etudes Supérieures Approfondies, Faculté des Sciences et Techniques, Université Hassan 1<sup>er</sup> Settat, Maroc. 66p, 2000.
- [18] R. Balaghi, M. Jlibene, B.Tychon, and H. Eerens, "La prédiction agrométéorologique des rendements céréalières au Maroc", INRA Ed. Rabat, 2012.
- [19] R. E. Youker, and J. L. McGuinness, "A short method of obtaining mean weight diameter values of aggregate analysis of soils", *Soil Science*, Vol. 83, no. 1, pp. 291–294, 1956.
- [20] R. Lal, "Carbon sequestration in dryland ecosystems of west Asia and North Africa", *Land Degradation & Development*, Vol. 13, no. 1, pp. 45-59, 2002.



- [21] R. Moussadek, "Impacts de l'agriculture de conservation sur les propriétés et la productivité des vertisols du Maroc Central", *Afrika focus*, Vol. 25 no. 2, pp. 147-151, 2012.
- [22] R. Moussadek, R. Mrabet, P. Zante, J. M. Lamachere, Y. Pénin, Y. Le Bissonnais, Y. Liming, An. Verdoot, et E. Van Ranst, "Effets du travail du sol et de la gestion des résidus sur les propriétés du sol et sur l'érosion hydrique d'un Vertisol Méditerranéen", *Canadian Journal of Soil Science*, Vol. 91, no. 4, pp. 627-635, 2011a.
- [23] R. Moussadek, R. Mrabet, and R. Dahan, "Effet de l'agriculture de conservation sur la qualité des sols au Maroc", *Revue H.T. E*, Vol. 149, no. 150, pp. 25-28, 2011b.
- [24] R. Moussadek., R. Mrabet., A. Verdoodt., L.Ye., and E. V. Ranst., *Effect of no tillage on Vertisol hydrodynamic properties*. In: W.E.H. Blum, M.H. Gerzabek and M. Vodrazka (Eds.), Eurosoil 2008. Vienna Austria: Book of Abstracts, p. 49, 2008.
- [25] R. Mrabet, "Effects of Residue Management and Cropping Systems on Wheat Yield Stability in a semiarid Mediterranean Clay Soil", *American Journal of Plant Sciences*, Vol. 2, no. 2, pp. 202 - 216, 2011.
- [26] R. Mrabet, "Differential response of wheat to tillage management systems under continuous cropping in a semiarid area of Morocco", *Field Crop and Research*, Vol. 66, no. 2, pp.165-174, 2000.
- [27] R. Mrabet, N. Saber, A. EL-Brahli, S.lahlou, and F. Bessam, "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*, Vol. 57, no. 1, pp. 225-235, 2001.
- [28] R. Mrabet, A., Essahat., et R. Moussadek., *Influence des systèmes de travail du sol sur les propriétés des sols en zones semi-arides du Maroc*. In: E. Roose et al., (Eds.), Efficacité de la gestion de l'eau et de la fertilité des sols en milieux semi-arides, Paris : AUF, EAC et IRD édition, pp. 274-289, Mai 2008.
- [29] R. Mrabet, R. Moussadek, *Conservation agriculture in dry areas of Morocco: Rational for agricultural sustainability under climate and socio-economic change*, *International conference of agricultural Engineering, Valencia. Spain, 2012*. [Online] Available: [http://cigr.ageng2012.org/images/fotosg/tabla\\_137\\_C0458.pdf](http://cigr.ageng2012.org/images/fotosg/tabla_137_C0458.pdf). (2012).
- [30] R. Mrabet, R. Moussadek, A. Fadlaoui, and E. Van Ranst, "Conservation agriculture in dry areas of Morocco. *Field Crops Research*", Vol. 132, pp, 84-94, 2012.
- [31] T. Friedrich, A. Kassam, and R. Mrabet, "L'agriculture de conservation dans le monde : Défis et évolutions", *Revue H.T. E*, Vol. 149, no. 150, pp. 10-12, 2011.
- [32] S. Lahlou., and R. Mrabet., *Tillage Influence on aggregate stability of a Calcixeroll Soil in semiarid Morocco*. In: Garcia-Torres et al. (Eds). *Conservation Agriculture: A Worldwide Challenge*, Madrid, Spain Vol. 2, pp. 249–254, 2001.
- [33] W. H. Gardner., Water content. In: A. Klute (Eds), *Methods of Soil Analysis Part 1: Physical and Mineralogical Methods*. 2nd ed vol 9, USA: Am. Soc. Agron, pp. 493-544, 1986.
- [34] Y. Le Bissonnais, "Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology", *European Journal of Soil Science*, Vol. 47, no. 4, pp. 425-437, 1996.
- [35] Z. Abdellaoui, H. Teskrat, A. Belhadj, et O. Zaghoulane, "Étude comparative de l'effet du travail conventionnel, semis direct et travail minimum sur le comportement d'une culture de blé dur dans la zone subhumide", *Options Méditerranéennes*, A no. 96, – IV Rencontres Méditerranéennes du Semis Direct, pp. 71-87, 2010.
- [36] N. Verhulst., B.Govaerts., E. Verachtert., A. C. Navarrete., M. Mezzalama., P.Wall., J.Deckers., and K.D. Sayre., *Conservation agriculture, improving soil quality for sustainable production systems?* In: R.Lal, and B.A. Stewart (Ed.), *Advances in soil science, Food security and soil quality*, (USA: CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 137-208, 2010.