

Impact des pratiques agricoles sur la stabilité structurale et la matière organique du sol dans les zones semi-arides Marocaines

[Effects of tillage and cropping systems on the structural stability and soil organic matter in semi-arid areas of Morocco]

Mohammed Belmekki¹, Rachid Mrabet², Rachid Moussadek², Oumaima Iben Halima³, Mohamed Boughlala³, Mohamed El Gharous³, and Bouchaib Bencharki¹

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

²Institut National de la Recherche Agronomique, BP 415, 10101 Rabat, Maroc

³Centre Régional de la Recherche Agronomique de Settat, 26000 Settat, Maroc

Copyright © 2013 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: Soil degradation is becoming the major problem of Moroccan soils in semiarid areas. This deterioration is due to poor soil management through recurring tillage practices that cause a decline in soil organic matter and degradation of their structural state. This study aims to characterize the impact of tillage, residue management and cropping systems on the aggregate stability and the accumulation of organic matter in a Calcixeroll soil. Three tillage treatments were compared: conventional off-set disking, no-tillage system with two levels of residue: NT100 = full surface residue cover and NT50 = half surface residue cover, along with three rotations: continuous wheat, fallow-wheat and fallow-wheat-barley. The results showed that compared with conventional tillage, no-tillage allows an improvement of aggregation and organic matter content of the sampled horizons (0-5, 5-10 and 10-15 cm). The total coverage of plots by 100% of mulch residues (NT100) has helped to increase the level of organic matter in all soil fractions (aggregates <0.5 mm and > 8 mm). It was found also that the continuous wheat rotation has improved the structural aspects of the soil and allowed the accumulation of organic matter compared with rotations with fallow. In conclusion, soil quality (stability and organic matter) was improved in no-tillage condition, especially with a maximum contribution of surface residue (NT100).

KEYWORDS: No-Tillage, crop residue, rotation, aggregate stability, organic matter.

RESUME: Le recours à des pratiques de labours récurrents dans les zones semis arides Marocaines a eu des effets négatifs sur la qualité des sols agricoles qui deviennent peu fertiles et plus vulnérables à l'érosion. Cette étude a pour objectif de caractériser l'incidence des pratiques culturales sur la stabilité structurale et l'accumulation de la matière organique d'un sol calcimagnésique et ses différentes tailles d'agrégats. Trois types de travail du sol ont été comparés : le labour conventionnel, le semis direct avec 100% des résidus de récoltes retournés aux parcelles et laissés en surface (SD100) et avec 50% des résidus (SD 50). Ainsi que trois types de rotation céréalière : Blé continu, Jachère-Blé et Jachère-Blé-Orge. Les résultats obtenus ont montré qu'en comparaison avec le labour conventionnel, le semis direct permet une amélioration de l'agrégation et des contenus en matière organique des horizons échantillonnés (0-5, 5-10 et 10-15cm), et particulièrement avec le retour à la surface du sol des quantités importantes des résidus de récolte (SD 100). Le non labour avec 100% de résidus a contribué à une augmentation du niveau de la matière organique dans toutes les fractions du sol (agrégats < 0,5 mm et > 8mm). Il a été constaté également que la rotation Blé continu a amélioré les facettes structurales du sol et a permis l'accumulation de la matière organique en comparaison avec les rotations incluant la jachère. En conclusion, la qualité du sol (stabilité et matière organique) s'est améliorée sous semis direct, notamment avec un apport maximum de résidus en surface (SD100).

MOTS-CLEFS: Semis direct, résidus de récolte, rotation, Stabilité des agrégats, matière organique.

1 INTRODUCTION

Dans les zones semi-arides Marocaines, la variabilité spatio-temporelle du climat avec des épisodes de sécheresse périodiques et fréquentes, ont abouti à une pénurie en ressources en eau qui influence la production céréalière [1]. Cette situation difficile s'aggrave par l'utilisation abusive des pratiques agricoles classiques [2]. En effet, le travail du sol et d'autres pratiques inadéquates (surpâturage, exportation de résidus, déboisement...), causent une déperdition du contenu en matière organique (MO) des sols qui deviennent peu fertiles et plus vulnérables à l'érosion [3]. Au vu de ces problèmes, l'agriculture de conservation est perçue comme une alternative viable contre les défis de la rareté et des dégradations des ressources naturelles de base [4]-[5]. C'est dans ce contexte que le plan Maroc vert a mis l'accent sur les systèmes agricoles qui sont productifs, rémunérateurs et en même temps respectueux de l'environnement [6]. Les travaux de recherche effectués dans les zones semi-arides marocaines, ont affirmé que, par rapport au labour conventionnel, le semis direct (système de conservatoire de gestion des sols et des cultures) permet des rendements élevés du blé [7]-[8]. D'autres recherches ont montré que cette pratique culturale améliore la qualité du sol [9], [10]-[11].

L'évolution de la qualité du sol est estimée indirectement via des propriétés physiques, chimiques et biologiques (la stabilité structurale, la MO...). La stabilité de la structure est considérée comme un bon indicateur de la qualité des sols et de leur sensibilité au ruissellement et à l'érosion [12]. Elle est le paramètre physique le plus étudié dans les expérimentations comparant le non-labour au labour [13]. Un travail du sol intensif détruit la cohésion des agrégats et affaiblit la structure, alors que le semis direct permet de restaurer l'agrégation du sol et d'améliorer sa stabilité structurale [14].

La MO a suscité l'intérêt de plusieurs chercheurs comme étant un indicateur important de la qualité du sol grâce à son rôle essentiel dans la protection physique de la surface du sol, la rétention d'eau, et la stabilisation de la structure [15], [16]-[17]. Les expériences à travers le monde indiquent que cette propriété inhérente du sol est influencée par les pratiques de production agricole. Parmi les approches permettant d'améliorer les apports de carbone, on retrouve les systèmes de réduction du travail du sol et la gestion de résidus de culture [18]-[19]. Ainsi, les réserves de la MO ont tendance à augmenter quelques années après la conversion en techniques sans labour [20]-[21]. Au Maroc, [10] et [22] ont indiqué que le semis direct (SD) a enregistré une meilleure séquestration en MO pour un calcimagnésique après 11 ans d'essais. Des résultats similaires ont été trouvés par [11] sur un autre essai de sept ans dans un vertisol. Selon les mêmes auteurs, l'élimination du labour et la présence de résidus de récolte en surface de façon continue représentent un facteur majeur d'accumulation du carbone organique et d'accroissement de la stabilité structurale des agrégats. Cette performance de la couverture végétale en régime de SD dépend du niveau de recouvrement du sol. Pour que celle-ci soit efficace, les chercheurs considèrent qu'il faut dépasser un taux de recouvrement du sol de 25 à 40 % [23].

La rotation et le type de culture agissent également sur le niveau de la MO. Les différents effets des rotations sur le taux de carbone organique reflètent l'importance des caractéristiques morphologiques des différentes cultures et le type de résidus dans l'amélioration du carbone organique dans le sol [24]. La référence [22] a montré que suivant les rotations, la rotation blé continu a présenté le taux de carbone le plus élevé dans les couches de surface, alors que les rotations incluant la jachère montrent les taux les plus faibles. Toutefois aucune tentative n'a été faite pour évaluer l'effet du travail du sol, de la gestion des résidus et de la rotation sur l'accumulation de la MO dans les différentes tailles d'agrégats du sol. La présente étude concerne un sol argileux gonflant en zone semi-aride marocaine (plaine de la Chaouia). Elle est inscrite dans une recherche de long-terme développée par le Centre Régional de la Recherche Agronomique de Settat afin d'évaluer les possibilités d'utiliser le SD comme pratique alternative visant à la conservation et à l'amélioration de la capacité productive des sols. L'objectif consiste à déterminer l'effet du travail du sol, de la gestion des résidus et des rotations de culture sur la stabilité structurale et la séquestration de la MO du sol et ses différentes tailles d'agrégats.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 DESCRIPTION DU SITE

Le site est situé à la station expérimentale de Sidi El Aydi du Centre Régional de la Recherche Agronomique de Settat, (latitude 33° 00'N, Longitude 09°22W), Nord de la ville de Settat (environ 15 Km). Le sol est un calcimagnésique à caractère vertique moyennement profond. Il est caractérisé par une structure faiblement développée et une teneur en MO relativement élevée sur les 10 premiers cm (tableau 1). Le climat est semi-aride à hivers froid. Les précipitations annuelles moyennes à long terme sont de 358 mm avec un maximum de 740 mm et un minimum de 113,5 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 sous parcelles (3 m de large et 20 m de long), dont une est labourée au pulvérisateur à disques et trois sont semées directement.

Le travail du sol consiste en un travail conventionnel (Cover Crop) effectué en parcelle labourée; c'est le labour primaire (10 à 15 cm de profondeur) pour préparer les lits de semences et pour enfouir les résidus. La jachère est entretenue mécaniquement. Par contre en parcelle non labourée, la seule opération aratoire 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. En condition de non labour, la jachère est entretenue par désherbage chimique.

Pour étudier l'effet de la gestion des résidus de récoltes sur les propriétés du sol sous semis direct, les trois sous parcelles sous SD 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 retourné et laissé en surface (SD 100) alors que dans la troisième sous parcelle, seulement la moitié des résidus récoltés a été gardé en surface du sol (SD 50). Les résidus ainsi repartis seront uniformément dispersés, avant le semis.

Pour notre étude, seuls les deux derniers niveaux de résidus sous SD (SD 50 et SD 100) ont été étudiés.

Tableau 1. Caractéristiques du sol à la station expérimentale de Sidi El Aydi (0-200mm) de profondeur [10]

Propriétés	Profondeur du sol (0-200 mm)
Argile (%)	51
Limon (%)	28
Sable (%)	21
pH (eau)	8,25
CaCo3 total (g.Kg ⁻¹)	13
Carbone Organique (%)	1,4
CEC (meq l ⁻¹)	50
Densité apparente à sec (g.cm ⁻³)	1,28
Na (Mg kg ⁻¹)	154
K (Mg kg ⁻¹)	319
Ca (Mg kg ⁻¹)	8040
Mg (Mg kg ⁻¹)	351

2.2 CONDUITE DE L'ESSAI

Au cours des rotations céréalières, le blé (variété Achar 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 du semis. Les dates et les doses de semis sont : Blé: début Novembre de chaque année à 120 Kg ha⁻¹, Fourrage: début Novembre de chaque année à 100 Kg ha⁻¹.

Les apports de fertilisants sont appliqués chaque année et dont les quantités sont déterminés sur la base des recommandations des laboratoires de science 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⁻¹ de Nitrate d'ammonium et 100 Kg ha⁻¹ de phosphate super triple. 50 Kg ha⁻¹ d'urée sont apportés au blé au début du tallage.

En condition de non labour, le désherbage, strictement chimique, est assuré par l'application de glyphosate à une dose de 3 à 4 l ha⁻¹ pour contrôler les mauvaises herbes avant le semis et en condition de jachère. Le chloro-sulfuron à 10g ha⁻¹ 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 raison de 25 Kg ha⁻¹ au semis, dont 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 l ha⁻¹.

2.3 LES MESURES DE SOL EFFECTUEES

Les échantillons ont été prélevés à trois niveaux de profondeurs (0-5, 5-10, et 10-15cm). Les mesures des paramètres du sol sur les six traitements ont été réalisées selon les procédures suivantes:

2.3.1 LA STABILITÉ STRUCTURALE

La stabilité structurale à l'eau est déterminée par la méthode proposée par Le Bissonnais [26]. L'objectif de cette méthode est de donner une description du comportement du sol soumis à l'action de pluie, et de permettre un classement relatif des matériaux. Les échantillons prélevés sont séchés à l'air libre, désagrégé puis tamisés pour sélectionner des agrégats de taille de 3 à 5 mm. Ces derniers ont subi trois traitements hydriques qui se différencient par les conditions d'interaction eau/sol:

- Traitement d'humectation rapide par immersion : permet de tester le comportement de matériaux secs soumis à des humectations brutales, une prise de 5g d'agrégats de 3 mm est versée dans un bêcheur contenant 50 ml d'eau distillée pendant 10 mn (observation visuelle de l'éclatement).
- Traitement d'humectation lente par capillarité : permet de simuler le comportement de matériaux secs à une humectation lente (cas de pluies modérées), une prise de 5g d'agrégats de 3 mm est disposée sur un papier filtre posé sur une table à succion pendant 30 mn (le temps de la réhumectation des agrégats par capillarité).
- Traitement de désagrégation mécanique par agitation après réhumectation : permet de tester la cohésion du sol à l'état humide indépendamment de l'éclatement, environ 5g d'agrégats de 3 mm ont été immergés dans l'éthanol pendant 30 mn, puis transférés dans un erlenmeyer d'eau distillée. L'étape suivante consiste tout d'abord à agiter manuellement l'erlenmeyer en effectuant 10 retournements, puis à laisser reposer pendant 30 mn (observation visuelle de la décantation).

Cette opération est suivie, pour chaque traitement, d'un tamisage à 50 μm dans l'éthanol pour fixer le premier état de désagrégation. Les agrégats restant ($> 50 \mu\text{m}$) ont été transférés dans un bécher à l'aide d'une pissette d'éthanol pour être séchés à 105°C pendant 48h. Cette fraction $> 50 \mu\text{m}$ est ensuite passée sur une colonne de six tamis de maille décroissante (2000, 1000, 500, 200, 100 et 50 μm) pour déterminer la distribution des différentes classes d'agrégats. La fraction $< 50\mu\text{m}$ est obtenue par détection par rapport au poids initial. Le pourcentage de chaque classe de taille par rapport au poids total d'agrégats est ensuite calculé. Le résultat s'exprime sous forme de diamètres moyens pondéraux (DMP, mm) défini par [26] comme suit :

$$\text{DMP} = \left(\sum (\text{diamètre moyen entre deux tamis} \times (\% \text{ pondéral des particules retenues sur le tamis})) \right) / 100.$$

2.3.2 LA MATIÈRE ORGANIQUE

La teneur en MO a été évaluée sur les trois horizons (0-5, 5-10 et 10-15 cm) selon la méthode proposée par Walkey et Black [27]. Pour connaître la distribution de la MO selon le fractionnement des agrégats de l'horizon superficiel (0-5 cm), la méthode de tamisage à sec est utilisée, elle consiste à faire passer les échantillons dans une colonne de tamis de mailles $< 0,25, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8$ et $> 8\text{mm}$, animée d'un mouvement à 1440 vibration/ mn pendant 5 minutes. Le refus de chaque tamis a été sujet à une analyse de la MO.

2.4 ANALYSE STATISTIQUE

Pour déterminer l'effet des six traitements (LC, SD 50, SD 100, BB, JB et JBO) sur les propriétés du sol, les différentes mesures effectuées ont fait l'objet de comparaisons multiples des moyennes selon le test de Duncan (modèle linéaire général) au seuil de 5%. Le logiciel utilisé pour les traitements statistiques est SAS version 2009.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 EVALUATION DE LA STABILITÉ STRUCTURALE

3.1.1 HUMECTATION RAPIDE PAR IMMERSION DANS L'EAU

L'humectation rapide est le mode de désagrégation le plus agressif et induit les DMP les plus petits (0.35 à 0.50 mm). Globalement, quelle que soit la technique du travail du sol adoptée, la structure du sol résiste mal à une humectation brutale. Cependant sous SD, un comportement relativement meilleur des agrégats vis-à-vis de cette contrainte (éclatement) est constaté dans les trois horizons (Fig. 1). Bien que l'effet de la gestion des résidus en condition de non labour ne soit pas significatif, la stabilité structurale est en moyenne plus élevée sous SD 100 que sous SD 50 le long du profil.

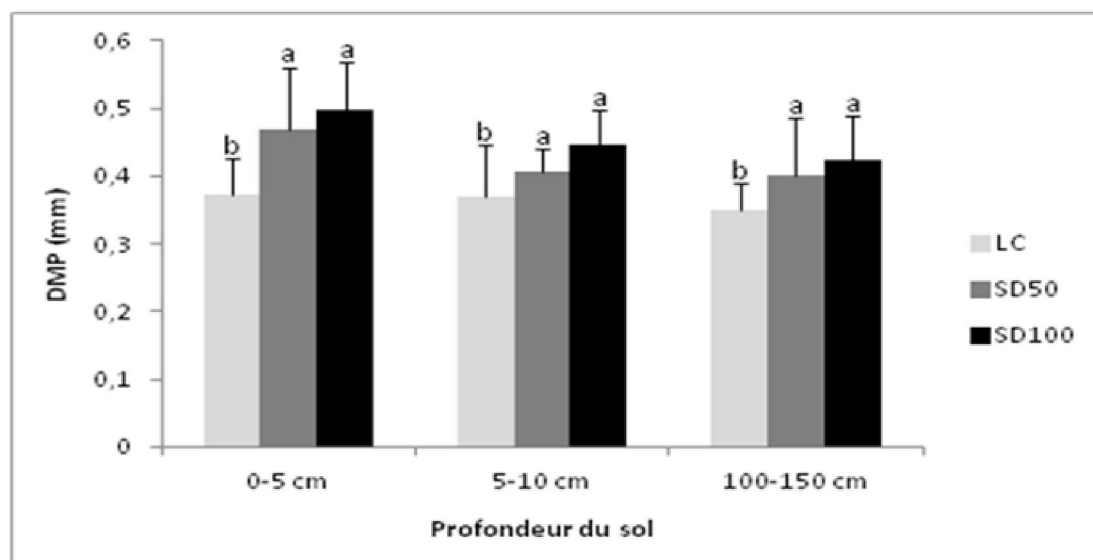


Fig. 1. Effet du travail du sol (labour conventionnel (LC), Semis direct avec deux niveaux de couverture du sol par les résidus : 50% (SD50) et 100% (SD100) sur le diamètre moyen pondéral (cas de l'humectation rapide). Les traitements ayant la même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de Duncan ($P < 0,05$)

Les résultats de ce test de la stabilité structurale révèlent aussi qu'il n'y a pas eu de différence significative entre les trois rotations (BB, JB et JBO) (Fig. 2). Il apparaît que la MO accumulée au niveau de ces rotations en SD n'était pas suffisante pour que le sol résiste à l'humectation brutale. Pour toutes les profondeurs, la rotation triennale JBO présente le DMP le plus faible (0,37 mm), ce qui montre que cette rotation est la plus vulnérable face à ce type de désagrégation. En référence aux normes établies par Le Bissonnais et Le Souder [28], les sols, avec des valeurs de DMP < 0,8 mm, sont considérés instables à très instables quand ils sont soumis à une humectation rapide quelque soit le mode de travail du sol adopté. Néanmoins, il y a une amélioration de la résistance du sol face à ce traitement destructif sous SD en raison de l'arrêt du travail du sol et de l'augmentation de la teneur en MO.

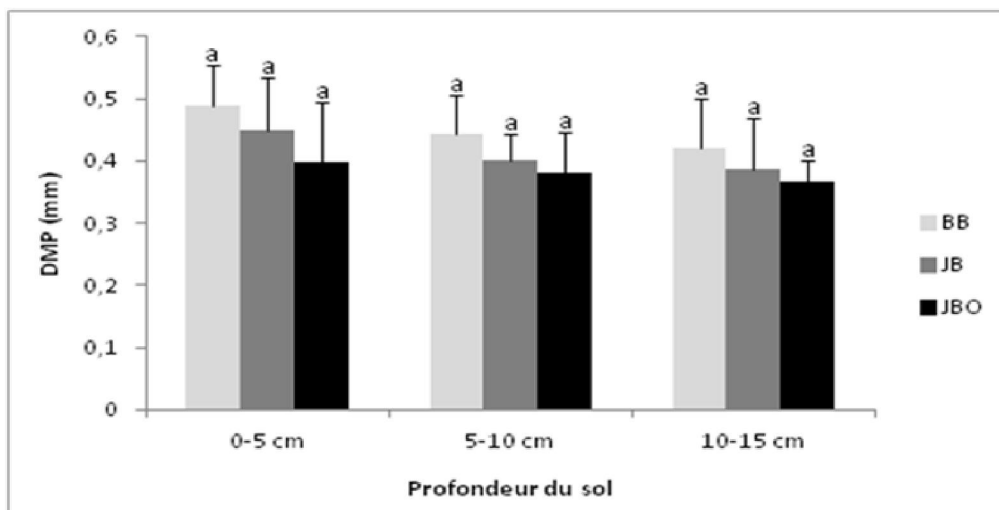


Fig. 2. Effet de la rotation (BB, JB et JBO) sur le diamètre moyen pondéral (cas de l'humectation rapide). Les traitements ayant la même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de Duncan ($P < 0,05$)

3.1.2 HUMECTATION LENTE PAR CAPILLARITÉ

Dans ce test, caractérisé par un faible gradient hydrique apporté aux agrégats et des possibilités d'échappement de l'air plus importantes, la présence des résidus (couverture totale ou partielle) à la surface du sol sous SD a limité la vitesse de réhumectation en comparaison avec le LC. Dans les autres profondeurs, l'apport maximum de résidus (SD 100) a protégé de façon très significative le sol contre cette désagrégation en comparaison avec la couverture partielle (SD 50) et le LC (Fig. 3). L'augmentation de la résistance des agrégats sous SD face à ce mode de désagrégation par rapport à l'humectation rapide (plus destructif) est due à la bonne cohésion que garde le sol lorsqu'il est soumis à des pluies modérées. Ces résultats sont cohérents avec ceux de [11] qui ont confirmés l'amélioration de la stabilité structurale du sol en condition de SD avec maintien des résidus de récolte.

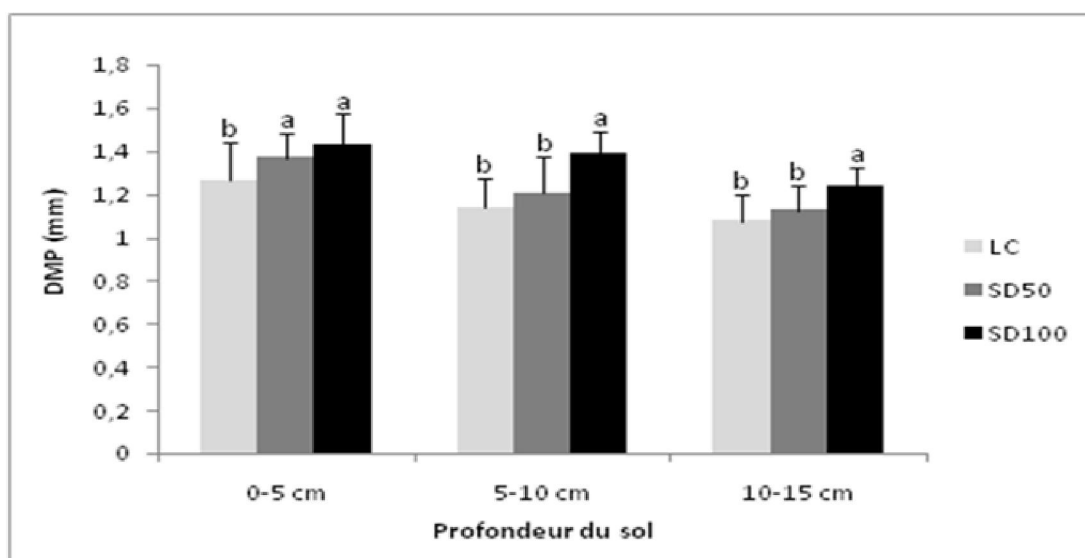


Fig. 3. Effet du travail du sol (labour conventionnel (LC), Semis direct avec deux niveaux de couverture du sol par les résidus : 50% (SD50) et 100% (SD100) sur le diamètre moyen pondéral (cas de l'humectation lente). Les traitements ayant la même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de Duncan ($P < 0,05$)

Suivant les rotations, on constate que dans les trois couches (0-5, 5-10 et 10-15 cm), les rotations biennales (BB et JB) ont montrés des valeurs de DMP plus élevées significativement par rapport à la rotation triennale (JBO). Ce qui confirme que l'influence de cette rotation sur la résistance du sol contre l'humectation lente est moins importante (Fig. 4). Par contre

d'autres chercheurs suggèrent que l'intensification des systèmes de culture par le biais d'une réduction de la fréquence de la jachère améliore l'accumulation de la MO et par suite la stabilité structurale du sol [1].

La réalisation de ce mode de désintégration montre que le sol résiste mieux à une humectation lente simulant une pluie hivernale, avec un avantage du SD 100 qui présente une valeur de DMP = 1,43 mm entraînant un comportement plus stable des agrégats que le SD 50 et le LC.

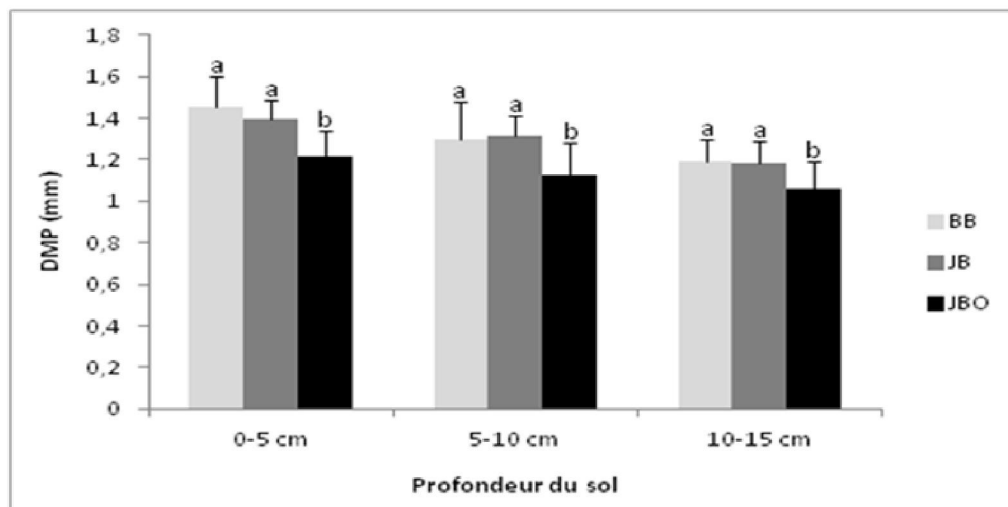


Fig. 4. Effet de la rotation (BB, JB et JBO) sur le diamètre moyen pondéral (cas de l'humectation lente). Les traitements ayant la même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de Duncan ($P < 0,05$)

3.1.3 DÉSAGRÉGATION MÉCANIQUE

Les DMP présentés par ce traitement sont relativement importants en comparaison avec le premier test (0,79 à 1,13 mm). Vis-à-vis de ce test, l'apport des résidus à la surface du sol sous SD a abaissé la vitesse d'humectation des agrégats et par suite a réduit leur fragmentation par rapport au LC. Dans l'horizon intermédiaire (5-10 cm), la stabilité des agrégats est supérieure sous SD 100 que sous SD 50 et LC (Fig. 5). Au niveau profond (10-15cm), l'influence des trois pratiques culturales (LC, SD 50 et SD 100) sur la cohésion du sol à l'état humide n'est pas significative.

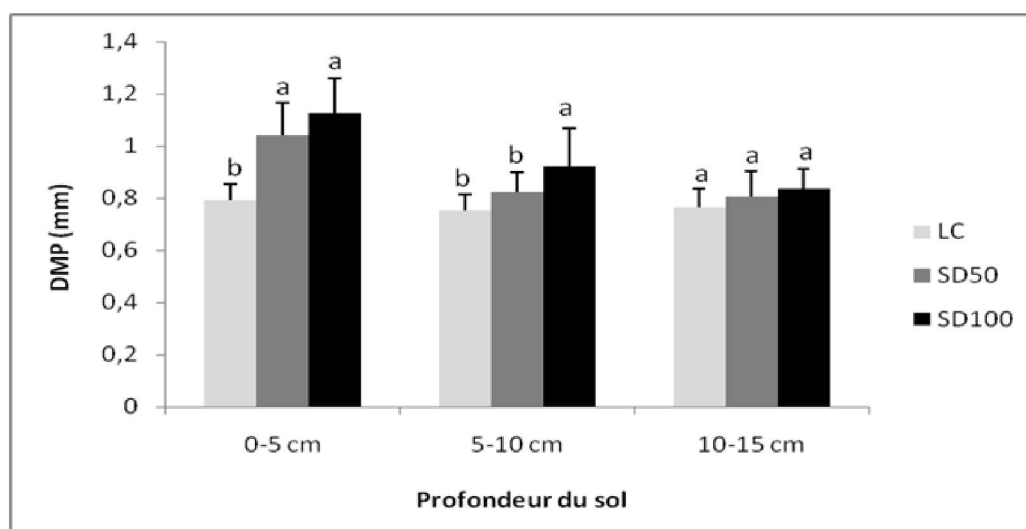


Fig. 5. Effet du travail du sol (labour conventionnel (LC), Semis direct avec deux niveaux de couverture du sol par les résidus : 50% (SD50) et 100% (SD100) sur le diamètre moyen pondéral (cas de désagrégation mécanique). Les traitements ayant la même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de Duncan ($P < 0,05$)

Les rotations biennales BB et JB, avec respectivement 1,05 mm et 0,99 mm de DMP, ont tendance à améliorer la stabilité structurale à la surface du sol par rapport à la rotation JBO (DMP = 0,92 mm). Par contre, dans les autres profondeurs, les DMP présentés par les trois rotations sont presque similaires et plus faibles par rapport au premier horizon (Fig. 6). La supériorité de la rotation blé continu quant à l'amélioration de stabilité structurale peut être expliquée par le fait que les quantités de résidus retournées au sol diffèrent d'une rotation à l'autre. En effet, le sol sur la rotation BB reçoit chaque année des résidus de blé, alors que la pratique de la jachère (sol nu) prive le sol des résidus de blé une année sur deux pour la rotation JB et une année sur trois pour la rotation JBO.

Avec des valeurs de DMP fluctuant autour d'une limite de 1,13 mm, le sol est considéré comme moyennement stable en surface, alors qu'il est instable en LC (DMP = 0,79 mm).

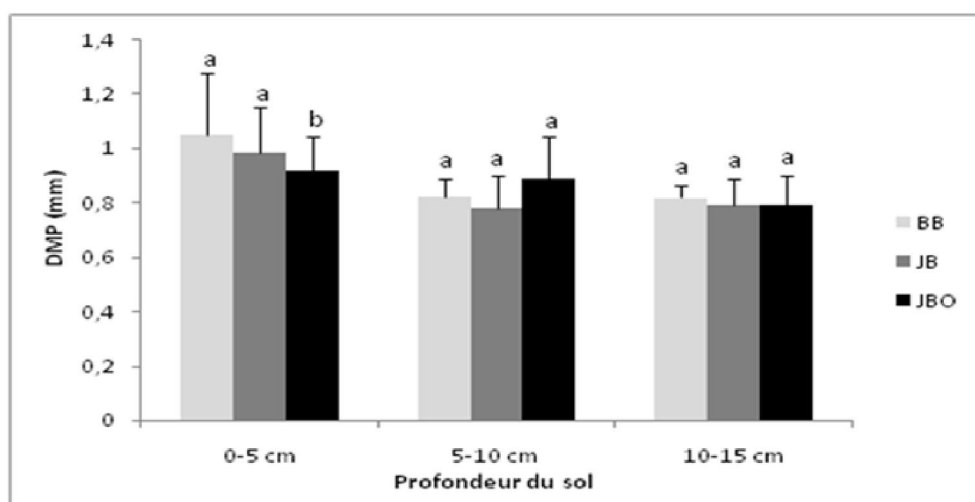


Fig. 6. Effet de la rotation (BB, JB et JBO) sur le diamètre moyen pondéral (cas de désagrégation mécanique). Les traitements ayant la même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de Duncan ($P < 0,05$)

3.2 EVALUATION DES TENEURS EN MATIERE ORGANIQUE

Les résultats du tableau 2, montrent que, dans les premiers horizons (0-5 et 5-10cm), le niveau de la MO est plus élevé dans les parcelles sous SD avec apport maximum des résidus (SD 100) que dans celles soumises aux autres techniques culturales (SD 50 et LC). En plus, le maintien des résidus à la surface des parcelles non labourées a affecté la dynamique de la MO, en favorisant une accumulation de celle-ci à la surface du sol sans appauvrissement en profondeur. Dans le troisième horizon, Bien que le sol sous SD séquestre plus de MO que sous le LC, la gestion des résidus semble ne pas avoir un effet significatif. Ces résultats sont en accord avec ceux de plusieurs chercheurs [9], [29]-[2].

Tableau 2. Effet du travail du sol, de la gestion des résidus et de la rotation sur la teneur de la matière organique

Profondeur de l'horizon	0-5 cm	5-10 cm	10-15 cm
Travail du sol et gestion des résidus			
SD 100	3,36 (0.39) a*	3,00 (0.34) a	2,60 (0.18) a
SD 50	3,08 (0.27) b	2,68 (0.29) b	2,46 (0.11) a
LC	2,52 (0,17) c	2,45 (0.34) c	2,12 (0.27) b
Rotation			
BB	3.18 (0.57) a	2.63 (0.25) a	2.42 (0.23) a
JB	2.95 (0.42) b	2.84 (0.55) b	2.38 (0.29) a
JBO	2.83 (0.38) b	2.66 (0.30) a	2.39 (0.34) a
Moyenne générale	2,99	2,71	2,39

*La MO est en %. Les valeurs entre parenthèse sont l'écart type par rapport à la valeur moyenne présentée (n=3).

Pour une même colonne les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Duncan ($P < 0,05$).

Cet avantage pour l'accumulation de la MO dans le sol du SD sur le LC est très largement observé dans les différentes classes d'agrégats de l'horizon de surface (Fig. 7). En effet, toutes les fractions relevant des parcelles non labourées ont enregistré des taux de MO plus élevés que celles des parcelles labourées, avec un effet hautement significatif pour les agrégats > 3 mm. Dans toutes les fractions, bien que l'effet de la gestion des résidus ne soit pas significatif, la MO est en moyenne plus concentrée sous SD 100 que sous SD 50. La faible séquestration de la MO dans les différents agrégats sous le LC peut être due à l'érosion ou au fait que lors du labour, les agrégats sont disloqués et le sol devient plus aéré, la MO ainsi déprotégée subit une minéralisation progressive par les microorganismes du sol empêchant, par conséquent, son accumulation [30].

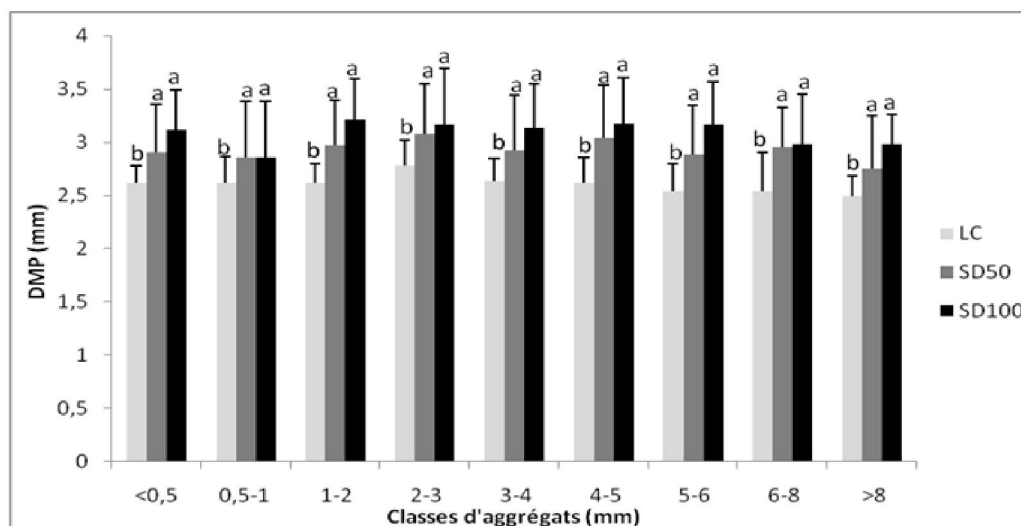


Fig. 7. Effet du travail du sol (labour conventionnel (LC), Semis direct avec deux niveaux de couverture du sol par les résidus : 50% (SD50) et 100% (SD100) sur la teneur en MO (%) dans les différentes classes d'agrégats de l'horizon de surface (0-5 cm). Les traitements ayant la même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de Duncan ($P < 0,05$)

Suivant les rotations, la rotation BB a favorisé la meilleure teneur en MO par rapport à celles incluant la jachère au niveau de la couche superficielle (0-5 cm) (tableau 2). Dans l'horizon intermédiaire (5-10 cm), la rotation JB présente le taux de MO le plus élevé (2,84%), alors que dans la couche profonde (5-10 cm) les différences entre les trois rotations sont statistiquement non significatives.

Les valeurs de la MO enregistrées par la rotation blé continu sont supérieures à celles trouvées par les chercheurs [31] et [18] dans le même site. Néanmoins, après plus de 20 ans d'essai, cet effet bénéfique du semis direct sur la séquestration de la MO par cette rotation a été observé uniquement dans les 5 premiers cm du sol.

Pour toutes les rotations, l'horizon de surface montre un taux de MO plus élevé par rapport aux autres horizons. Ce stockage de carbone dans la couche superficielle se répercute sur sa localisation dans les 9 classes d'agrégats avec un effet significatif en faveur des rotations biennales BB et JB (Fig. 8). La classe d'agrégats 2-3 mm présente le taux de MO le plus élevé quelle que soit la rotation pratiquée (3,20 % sous la rotation BB, 3,18 % sous JB et 2,68 % sous JBO). Cette analyse a démontré aussi que tous les agrégats de surface issus de la rotation JBO montrent des teneurs faibles en MO (2,50 à 2,68 %), ce qui explique le comportement fragile du sol sous cette rotation vis-à-vis des différentes contraintes occasionnées par les tests hydriques.

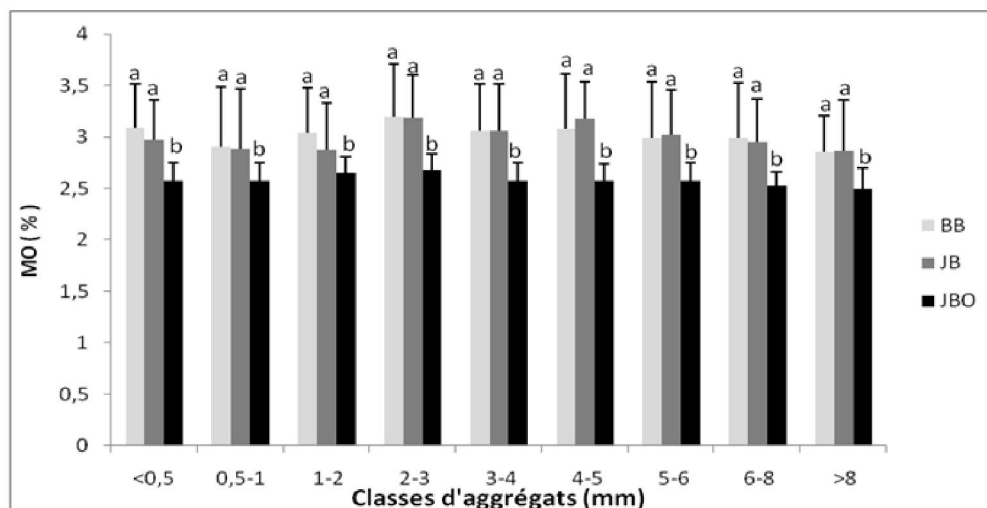


Fig. 8. Effet de la rotation (BB, JB et JBO) sur la teneur en MO (%) dans les différentes classes d'agrégats de l'horizon de surface (0-5 cm). Les traitements ayant la même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de Duncan ($P < 0,05$)

4 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Le travail présenté consiste à déterminer l'effet des pratiques culturales sur la stabilité des agrégats du sol et l'accumulation de la MO dans les zones semi-arides marocaines. Nos résultats montrent que l'adoption des systèmes de SD a un effet potentiel de séquestration de la MO dans la couche superficielle du sol (0-5cm) sans appauvrissement des couches profondes, et que l'apport additionnel des résidus de récolte (couverture totale SD 100) a tendance à améliorer le niveau de carbone dans tous les agrégats du sol. Ces résultats indiquent qu'il y a effectivement un regain d'équilibre dans le sol en condition de non-labour qui se traduit par une résistance à la désagrégation par rapport au labour traditionnel quel que soit le test utilisé pour l'estimation de la stabilité structurale à l'eau. Nos données confirment aussi que la rotation blé continu affiche le meilleur taux de MO dans le sol et par conséquent elle a favorisé l'agrégation par rapport aux rotations incluant la jachère.

L'évaluation de la qualité du sol doit être complétée par d'autres analyses physiques et chimiques (densité apparente, humidité, pH, azote, potassium et phosphore). D'autant plus que les résultats obtenus aux stations expérimentales doivent être confirmés au niveau des exploitations agricoles dans les milieux semi-arides où l'expansion de ce système conservatoire de gestion des sols est retardée par un contexte défavorable : pression du pâturage sur les résidus de récolte, manque de connaissance sur le semis direct et infrastructures rurales inappropriées.

REFERENCES

- [1] S. Lahlou, "Systèmes de labour de conservation et qualité physique du sol en zone semi-aride Marocain (cas de la plaine de la plaine de la Chaouia): Recherches et Approches Anciennes et Contemporaines", *Thèse de doctorat national*, Faculté des Sciences El Jadida, Maroc, 154 p, 2005.
- [2] K. Ibno-Namr, "Effet à moyen terme du travail du sol, de la gestion des résidus de récolte et de la rotation céréalière sur la qualité chimique d'un sol calcimagnésique à caractère vertique dans le semi-aride marocain", *Thèse d'Etat*, Faculté des Sciences El Jadida, Maroc, 143 p, 2005.
- [3] R. Mrabet, S. Lahlou, Y. Le Bissonnais, et O. Duval, "Estimation de la stabilité structurale des sols semi-arides marocains : Influence des techniques culturales simplifiées", *Bulletin du Réseau Erosion*, Vol. 23, n° 2, pp, 405- 415, 2004.
- [4] M. Chabane, "L'agriculture de conservation : voie de sécurité alimentaire dans les pays de Maghreb", In: B. Vadon, H. Irektil, and H. Bouzerzour, (Eds.), *4^{ème} Rencontre Méditerranéennes du semis direct. Option Méditerranéennes*, Série A (96), Sétif (Algérie), Editeur: CIHEAM, pp, 189-208, Mai 2010.
- [5] 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.
- [6] 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.

- [7] A. Bouzza, "Water conservation in wheat rotations under several management and tillage systems in semi-arid areas", *Ph. D. Dissertation*, University of Nebraska, Lincoln, NE USA, 200 p, 1990.
- [8] M. Kacemi, "Water conservation, crop rotation and tillage systems in semi-arid Morocco", *Ph. D. Dissertation*, Colorado State University Fort Collins Co USA, 220 p, 1992.
- [9] F. Bessam and R. Mrabet, "Time influence of no tillage on organic matter and its quality of a vertic calcixeroll in semiarid area of Morocco", In: Garcia-Torres et al., (Eds.), *Proceeding of I World congress on Conservation Agriculture*, Madrid (Spain), pp. 281-286, October 2001.
- [10] R. Mrabet, N. Saber, A. EL-Brahli, S. Iahlou, 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, n° 4, pp. 225-235, 2001.
- [11] R. Moussadek, R. Mrabet, P. Zante, J. M. Lamachere, Y. Pénin, Y. Le Bissonais, Y. Liming, An. Verdoot, and 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, n° 4, pp. 627-635, 2011.
- [12] B. Barthés et E. Roose, "La stabilité de l'agrégation, un indicateur de la sensibilité des sols au ruissellement et à l'érosion : validation à plusieurs échelles", *Cahiers Agricultures*, Vol. 10, n° 3, pp. 185-193, 2001.
- [13] J. Roger-Estrade, J. Labreuche, et G. Richard, "Effets de l'adoption des techniques culturales sans labour (TCSL) sur l'état physique des sols : conséquences sur la protection contre l'érosion hydrique en milieu tempéré", *Cahiers Agricultures*, Vol. 20, n° 3, pp. 186-193, 2011.
- [14] G. S. Saroa and R. Lal, "Soil restorative effects of mulching on aggregation and carbon sequestration in a Miamian Soil in Central Ohio", *Land Degradation & Development*, Vol. 14, n° 5, pp. 481- 493, 2003.
- [15] F. J. Stevenson, *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*, In: Wiley and Sons (Eds.), *Organic matter in Soils: Pools, Distribution, Transformations and Function*, INC, NY, USA, pp. 1-20, 1994.
- [16] C. Chenu, Y. Le Bissonais, and D. Arrouays, "Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability", *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 64, n° 4, pp. 1479-1486, 2000.
- [17] L. Alletto, Y. Coquet, and J. Roger-Estrade, "Two-dimensional spatial variation of soil physical properties in two tillage systems", *Soil Use Management*, Vol. 26, n° 4, pp. 432-444, 2010.
- [18] K. Ibno- Namr and R. Mrabet, "Influence of agricultural management on chemical quality of a clay soil of semi-arid Morocco", *Journal of African Earth Sciences*, Vol. 39, n° 3-5, pp. 485-489, 2004
- [19] G. Basch, J.F.C. Barros, J.M.G. Calado, and M.L.C. Brandão, "The potential of no-till and residue management to sequester carbon under rainfed Mediterranean conditions", In: Z. Lehocka, M. Klimekova, W. Sukkel, (Eds.), *The 5th International Scientific Conference on Sustainable Farming Systems*, Piešťany (Slovakia), ECOMIT, pp. 61-66, November 2008.
- [20] S. W. Duiker and D. B. Beegle, "Soil fertility distributions in long-term no-till, chisel /disk and mold board plow/ disk systems", *Soil and Tillage Research*, Vol. 8, n° 1-2, pp. 30-41, 2006.
- [21] J. M. Holland, "The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence", *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol. 103, n° 1, pp. 1-25, 2004.
- [22] 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, n° 1, pp. 43-53, 2002.
- [23] F. J. P. M. Kwaad, M. Van der Zijp, and P. M. Van Dijk, "Soil conservation and maize cropping systems on sloping loess in the Netherlands", *Soil and Tillage Research*, Vol. 46, n° 1-2, pp. 13-21, 1998.
- [24] H. Dinel and E. Gregorich, "Structural stability status as affected by long-term continuous maize and Bluegrass sod treatments", *Biological Agriculture and Horticulture*, Vol. 12, n° 3, pp. 237-252, 1995.
- [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, n° 2, pp. 2011.
- [26] Y. Le Bissonais, "Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology", *European Journal of Soil Science*, Vol. 47, n° 4, pp. 425-437, 1996.
- [27] 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, n° 1, pp. 29-38, 1934.
- [28] Y. Le Bissonais et C. Le Souder, "Mesurer la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité à la battance et à l'érosion", *Etude et gestion des sols*, Vol. 2, n° 1, pp. 43-56. 1995.
- [29] R. Mrabet, K. Ibno-Namr, F. Bessam, and N. Saber, "Soil chemical quality changes organic matter and structural stability of a Calcixeroll soil under different wheat rotations and tillage systems in a semiarid area of Morocco", *Land Degradation & Development*, Vol. 12, n° 6, pp. 505-517, 2001.

- [30] 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 : IRD édition, pp. 274-289, Mai 2008.
- [31] F. Bessam, "Influence des travaux du sol et management des cultures sur la matière organique et sa qualité", *Diplôme des études supérieures approfondies*, Faculté des Science El Jadida, Maroc, 84 p, 1999.