

Influence des racines sur la stabilité structurale d'un sol du Nord de la Tunisie

M. Annabi^(1, 2) et B. Haithem^(1, 3)

- 1) Laboratoire d'Agronomie, INRAT, rue Hédi Karray Ariana, Tunisie - mannabi@gmail.com
- 2) Laboratoire des Analyses Sols-Plantes-Eaux, INRAT, Rue Hédi Karray Ariana, Tunisie
- 3) INRGREF, rue Hédi Karray Ariana, Tunisie

RÉSUMÉ

La présence de la plante affecte l'état structural du sol et sa résistance à l'érosion hydrique. L'objectif de ce travail était de déterminer l'influence de deux cultures (blé dur et féverole) sur la stabilité des agrégats d'un sol limono-argileux du Nord de la Tunisie en relation avec l'activité racinaire et microbienne dans le sol. Des essais en pots de végétation en conditions semi-contrôlées de serre ont été menés en 2008. Les suivis de la stabilité des agrégats vis-à-vis du test à l'eau, de la densité des racines, de la teneur en polysaccharides et de l'activité déshydrogénase ont été réalisés au cours des cycles culturaux et après la récolte des plantes. Les résultats ont montré une amélioration de la résistance des agrégats à l'éclatement pour les traitements cultivés par rapport au sol nu. Cette amélioration de la stabilité des agrégats, observée à partir du 3^e mois de la mise en culture, persiste 4 mois après la récolte des plantes. Cette stabilisation de la structure pourrait être expliquée par la colonisation du sol par les racines qui contribuent dans la stabilité des agrégats par l'action mécanique des chevelus racinaires et aussi par leur stimulation des microorganismes du sol.

Mots clés

Sol, racine, stabilité structurale, activité microbienne.

SUMMARY

INFLUENCE OF ROOTS ON SOIL AGGREGATE STABILITY

Soil cultivation influence soil structure and its resistance to water erosion. The objective of this study was to determine crop effect on soil aggregate stability in relation with root and microbial activities. The effect of durum wheat and fababean on clay loamy soil was tested under green house conditions in 2008. Aggregate resistance to fast wetting, root density, and soil microbial activity were followed during

the crop cycle and 4 months after harvest. Results showed an increase in aggregate stability in cultivated treatments compared to bare soil, even 4 months after harvest. The two cultivated species had similar effects on aggregate stability. Root biomass and density and soil microbial activity, larger in cultivated soils, explain this aggregate stabilization. This observed improvement of aggregate stability could be explained by the colonization of soil by roots that contribute to the stability of aggregates by the mechanical action of hairy root and its stimulating effect of soil microbial activity.

Key-words

Soil, root, aggregate stability, microbial activity.

RESUMEN

INFLUENZA DE LAS RAÍCES SOBRE LA ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DE UN SUELO DEL NORTE DE TÚNEZ

La presencia de la planta afecta el estado estructural del suelo y su resistencia a la erosión hídrica. El objetivo de este trabajo está determinar la influencia de dos cultivos (trigo duro y haba menor) sobre la estabilidad de los agregados de un suelo limoso -arcilloso del norte de Túnez en relación con la actividad microbiana y de las raíces en el suelo. Se siguieron ensayos en masetas de vegetación en condiciones semicontroladas de invernaderos en 2008. Se realizaron seguimientos de la estabilidad de los agregados por el test con agua, de la densidad de las raíces, del contenido en polisacáridos y de la actividad deshidrogenasa en el curso de los ciclos de cultivos y después de la cosecha de las plantas. Los resultados mostraron un mejoramiento de la resistencia de los agregados al estallido para los tratamientos cultivados en relación al suelo desnudo. Este mejoramiento de la estabilidad de los agregados, observado a partir del tercer mes de cultivo, persiste 4 meses después de la cosecha de las plantas. Esta estabilización de la estructura podría explicarse por la colonización del suelo por las raíces que contribuyen a la estabilidad de los agregados por la acción mecánica de los melencudos de raíces y por su efecto estimulante sobre la actividad microbiana de los suelos.

Palabras clave

Suelo, raíces, estabilidad estructural, actividad microbiana.

En Tunisie, l'érosion hydrique concerne plus de 3 millions d'hectares des terres agricoles. La surface des terres perdues annuellement par l'érosion hydrique est estimée par Mhiri et Bousnina (1998) entre 5000 et 10000 ha.an⁻¹. Ce phénomène est amplifié dans les régions de grandes cultures du Nord du pays (MARH, 2003) où la pluviométrie (400 à 600 mm.an⁻¹) est concentrée en automne et en hiver avec de multiples épisodes orageux (Slimani et al., 2002).

La stabilité de la structure du sol a un rôle important dans la résistance du sol à l'érosion hydrique (Amézketa, 1999). Les différents organismes vivant dans le sol (végétaux, animaux et microorganismes) contribuent à l'établissement d'une structure stable (Lynch et Bragg, 1985; Oades, 1993). L'efficacité de ces organismes dans la stabilisation de la structure est modulée par les conditions du milieu régulant leur activité (température, humidité, disponibilité des substrats...) (Oades, 1988; Nguyen, 2003).

La stabilité structurale d'un sol et sa résistance à l'érosion hydrique sont plus importantes en présence de végétation par rapport à un sol nu (Roose, 1994; Cerdà, 1998; Kort et al., 1998). Ainsi, l'équation universelle des pertes en terre (USLE) prend en considération dans sa formule un facteur « végétation » (Wischmeier, 1959). En effet, d'une part la végétation atténue l'intensité des gouttes de pluie et leur impact sur l'éclatement des agrégats grâce à sa partie arienne et d'autre part elle améliore la stabilité structurale du sol et son infiltrabilité via les résidus végétaux et l'activité racinaire (Styczen et Morgan, 1995; Gyssels et al., 2005).

L'influence des racines des plantes sur la stabilité de la structure du sol a été synthétisée par Degens (1997), Angers et Caron (1998) et Six et al. (2004). Les racines des plantes agissent sur la stabilité des agrégats (i) par leur action mécanique, en rassemblant les particules minérales, (ii) par la quantité et la nature de leurs exsudats racinaires, (iii) par l'intermédiaire de la microflore rhizosphérique (iv) par la déposition de racines mortes et (v) par la modification de l'état hydrique du sol (Tisdall et Oades, 1982; Morel et al., 1991; Styczen et Morgan, 1995; Degens, 1997; Angers et Caron, 1998). Les plantes n'ont pas toutes la même architecture racinaire, ni la même capacité à produire des exsudats ou d'interagir avec les microorganismes du sol (Priha et al., 1999; Gransee et Wittenmayer, 2000; Nguyen, 2003; Wichern et al., 2007), ce qui explique leurs efficacités différentes dans la stabilisation des agrégats du sol (Nakamoto et Suzuki, 2001; Eviner et Chapin, 2002). Plus la biomasse des racines et leurs exsudats sont abondants plus ils contribuent dans la stabilisation des agrégats (Waldron et al., 1983; Dufey et al., 1986; Miller et Jastrow, 1990). En effet, les exsudats racinaires, riches en sucres polymérisés (Hütsch et al., 2002; Nguyen, 2003), améliorent la stabilité structurale du sol en jouant le rôle de colle liante les particules solides entre eux et en constituant une source de carbone facilement utilisable pour les microorganismes du sol qui eux à leur tour

synthétisent des substances gluantes telles que les polysaccharides microbiens (Robert et Chenu, 1992; Traore et al., 2000). En améliorant la stabilité des agrégats, les racines ralentissent l'apparition du ruissellement et de l'érosion hydrique des sols. Ainsi, De Baets et al. (2006) et Zhou et Shanguan (2007) ont observé que l'érodibilité des sols est négativement corrélée avec la densité des racines du ray grass.

L'objectif de ce travail était de suivre l'évolution de la stabilité des agrégats d'un sol en présence de deux espèces cultivées par rapport à un sol nu et de relier la stabilisation des agrégats à des paramètres radiculaires et des mesures biochimiques dans le sol. Le blé dur et la féverole ont été choisis comme plantes tests. Ces 2 espèces végétales, largement cultivées en Tunisie (ONAGRI, 2008), présentent des systèmes racinaires morphologiquement différents, le premier de type fasciculé et le second pivotant.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Sol

Le sol utilisé est prélevé sur la station expérimentale de IN-RAT à Oued -Mliiz (gouvernorat de Jendouba, Nord-Ouest de la Tunisie, 32°29'55"N 8°32'16"E) dans la couche superficielle (0 -10 cm). Après séchage à l'air libre, le sol est tamisé à 5 mm. C'est un cambisol (WRB-FAO classification) sur alluvions récentes de la Medjerda de texture argilo-limoneux, pauvre en carbone organique (9,3 g.kg⁻¹). La richesse du sol en limons et en sable fin (54 %) permet de détecter aisément tout effet bénéfique sur la stabilité structurale. Les principales caractéristiques physico-chimiques du sol sont résumées dans le *tableau 1*.

Cultures

Dans des bacs en plastique (L = 50 cm, l = 30 cm, h = 12 cm) remplis avec le sol tamisé à 5 mm, des graines de blé dur (*Triticum durum*, variété Karim) et de féverole (*Vicia faba*, variété Badī) sont semées en lignes distantes de 5 cm pour le blé dur et de 10 cm pour la féverole dans le sens de la largeur des bacs.

Après la levée, la densité des plants est ajustée à 45 plantes/bac pour le blé dur et 10 plantes/bac pour la féverole par arrachage des plantules excédentaires, ce qui est équivalent à des densités de semis proches des pratiques des agriculteurs en Tunisie, soit 300 plantes.m⁻² pour le blé dur et 66 plantes.m⁻² pour la féverole.

Dix-huit bacs sont mis en culture pour chacune des deux espèces et 18 bacs témoins ne comportent pas de plante. Ces bacs sont mis sous un abri en plastique au début du mois de janvier 2008. L'augmentation de la température sous l'abri est modulée par l'ouverture des portes d'abris et par l'installation

Tableau 1 : Principales caractéristiques physico-chimiques du sol étudié. L'analyse granulométrique est réalisée après destruction des carbonates et des matières organiques. La teneur en carbone organique est déterminée par la méthode de Walkley-Black. L'azote total est dosé selon la méthode Kjeldahl. Les carbonates sont dosés à l'aide d'un calcimètre de Bernard. Le pH est mesuré dans une suspension sol : eau 1:5.

Table 1: Main physical and chemical characteristics of soil. Texture was performed after removing carbonates and organic matter. Total organic carbon was determined by the Walkley-Black method. Total nitrogen was determined by the Kjeldahl method. Carbonates were determined using a Bernard calcimeter. The pH was measured in 1:5 soil : water suspension.

Paramètres	Valeurs
Argiles (g.kg ⁻¹)	306
Limon fin (g.kg ⁻¹)	166
Limon grossier (g.kg ⁻¹)	188
Sable fin (g.kg ⁻¹)	180
Sable grossier (g.kg ⁻¹)	160
Carbone organique (g.kg ⁻¹)	9,30
Azote total (g.kg ⁻¹)	0,94
CaCO ₃ (g.kg ⁻¹)	186
pH	7,42

d'une ombrière. La teneur en eau pondérale du sol est réajustée à 25 % avec une fréquence d'arrosage par pulvérisation de 3 à 5 jours selon l'état de développement des cultures. Lors de l'arrosage, les bacs subissent une rotation dans la serre de façon à minimiser les effets éventuels des écarts de conditions dans la serre. Pour le blé dur deux apports d'azote minéral, sous forme d'une solution d'urée, sont réalisés après un mois et deux mois et demi du semis. La dose totale apportée est équivalente à 100 kg N.ha⁻¹ ce qui correspond à un objectif de rendement de 30 quintaux de grains de blé par hectare. Les mauvaises herbes germées dans les bacs sont arrachées manuellement.

A T0 (avant semis) et tous les 1,5 mois (mi-février, début avril et mi-mai), 3 bacs de chaque traitement sont prélevés. Les parties aériennes des plantes sont coupées à ras de sol puis séchées à 50 °C.

À l'aide d'un cylindre métallique affûté à sa base, de diamètre interne 3,5 cm et de hauteur 10 cm, des prélèvements de sol sont réalisés sur toute la profondeur de la couche du sol dans le bac (10 cm). Trois carottes sont ainsi prélevées pour

déterminer les paramètres radiculaires et le contenu de trois autres carottes est utilisé pour doser les polysaccharides et l'activité déshydrogénase dans le sol. Le sol restant est séché à l'air libre puis tamisé afin de récupérer des agrégats de sol de taille comprise entre 3 et 5 mm nécessaires pour les mesures de la stabilité structurale (Le Bissonais et Le Souder, 1995).

Après le troisième prélèvement, les 9 bacs restants de chaque traitement sont aussi récoltés et sont laissés sous serre afin de suivre l'évolution des paramètres mesurés après la récolte de la partie aérienne des plantes. La teneur en eau dans les bacs restant est ajustée régulièrement à 15 %. Aussi, chaque 1,5 mois (début juillet, mi-août et début octobre 2008), trois bacs de chaque traitement sont prélevés selon la procédure décrite précédemment.

Paramètres racinaires

Les racines contenues dans le volume des cylindres sont extraites par lavage à l'eau. Après sédimentation des particules minérales, les racines sont récupérées dans un tamis de 0,5 mm, sont séchées à l'étuve à 50 °C et sont pesées.

Pour déterminer la longueur des racines, les racines collectées sont placées au hasard sur un papier-filtre. La longueur totale des racines (R) a été déterminée avec une grille transparente de maille 1 cm en comptant le nombre d'intersections entre les racines et la grille (Newman, 1966). La longueur totale des racines est calculée comme suit :

$$\text{Longueur racines (cm)} = \frac{\pi AN}{2H}$$

où A est la surface occupée par les racines sur le papier -filtre, N est le nombre d'intersections, et H est la longueur totale de la grille.

La densité racinaire (cm racine.cm⁻³ sol) est calculée en divisant la longueur des racines par le volume (cm³) du cylindre du sol.

Stabilité structurale

La stabilité de la structure est évaluée sur des agrégats secs de taille comprise entre 3 et 5 mm qui sont récupérés par double tamisage après chaque échantillonnage. Le test d'humectation rapide par immersion dans l'eau de la méthode proposée par Le Bissonais et Le Souder (1995) est utilisé. Ce test permet d'évaluer le comportement de matériaux secs soumis à des humectations brutales, du type irrigation par submersion, ou des pluies intenses. Environ 10 g d'agrégats sont versés dans 100 mL d'eau distillée dans un bécher. Après 10 minutes, l'excès d'eau est évacué et les agrégats humectés sont transférés sur un tamis de 0,05 mm immergé dans de l'éthanol. La fraction supérieure à 0,05 mm est récupérée dans une coupelle en verre, séchée à 40 °C et passée sur une colonne de 6 tamis de 2 ; 1 ; 0,5 ; 0,2 ; 0,1 et 0,05 mm. La distribution granulomé-

trique obtenue permet de calculer le diamètre moyen pondéré (DMP en mm) des agrégats issus de ce test :

$$DMP = \sum_i^n \bar{x}_i w_i$$

avec : \bar{x}_i est le diamètre moyen entre deux tamis en mm, w_i est la proportion de la masse totale d'agrégats résiduels dans chaque tamis.

Polysaccharides extractibles à l'acide dilué (PolyAc)

L'extraction est réalisée sur 1,25 g de sol frais dans 10 mL d'acide sulfurique (1,5 M) (Angers *et al.*, 1993). Après 24 heures d'extraction statique dans une étuve à 80 °C, les surnageants sont récupérés. Le dosage des sucres contenus dans cet extrait se fait selon la méthode de Dubois *et al.* (1956) : une aliquote de 1 mL de la solution extraite est mélangée à 1 mL de solution de phénol à 5 % et à 5 mL d'acide sulfurique pur (H₂SO₄, 18M). Après 10 minutes, la densité optique du mélange est mesurée par colorimétrie à 490 nm. Une droite d'étalonnage est réalisée à l'aide de solutions standard de glucose.

Cette hydrolyse acide ménagée permet d'extraire la plupart des polysaccharides des mucilages microbiens et racinaires, des polysaccharides de réserve (amidon), des hémicelluloses, des pectines et des sucres simples (Guckert, 1973).

Activité deshydrogénase

10 g de sol humide sont incubés en présence de 10 mL d'eau distillée et de 3 mL d'une solution à 3 % de Triphenyl-Té-

trazolium Chloride (TTC). Après 24 heures d'incubation à 37 °C à l'abri de la lumière dans un récipient hermétique, 10 mL de méthanol sont ajoutés, la suspension est homogénéisée et filtrée. La réduction du TTC jaune en Triphenyl Formazan (TPF) rouge est dosée par mesure spectrophotométrique à une longueur d'onde de 485 nm (Tabatabai, 1982).

Analyse statistique

Pour chaque date d'échantillonnage, les résultats représentent la moyenne de trois répétitions. Les barres d'erreur représentent les écart-types. La comparaison de la moyenne est analysée à l'aide du test LSD de Fisher ($p < 0,05$) à l'aide du logiciel Statistix 7.0 (Analytical Software). Des corrélations linéaires sont aussi testées entre les paramètres suivis.

RÉSULTATS

Biomasse végétale aérienne

Après quatre mois et demi de culture, la matière sèche aérienne du blé dur et de la féverole est de l'ordre de 809±125 et 703±99 g.m⁻², respectivement (*figure 1*). Cependant, pour chaque date de mesure aucune différence significative de la matière sèche aérienne n'est observée entre les deux cultures.

Biomasse et densité racinaire

La masse racinaire augmente d'une façon significative au cours de la période de culture puis elle diminue durant la pé-

Figure 1 : Evolution au cours du temps de la biomasse végétale aérienne du blé dur et de la féverole.

Figure 1 : Evolution of vegetal biomass (dry matter basis) of durum wheat and fababean.

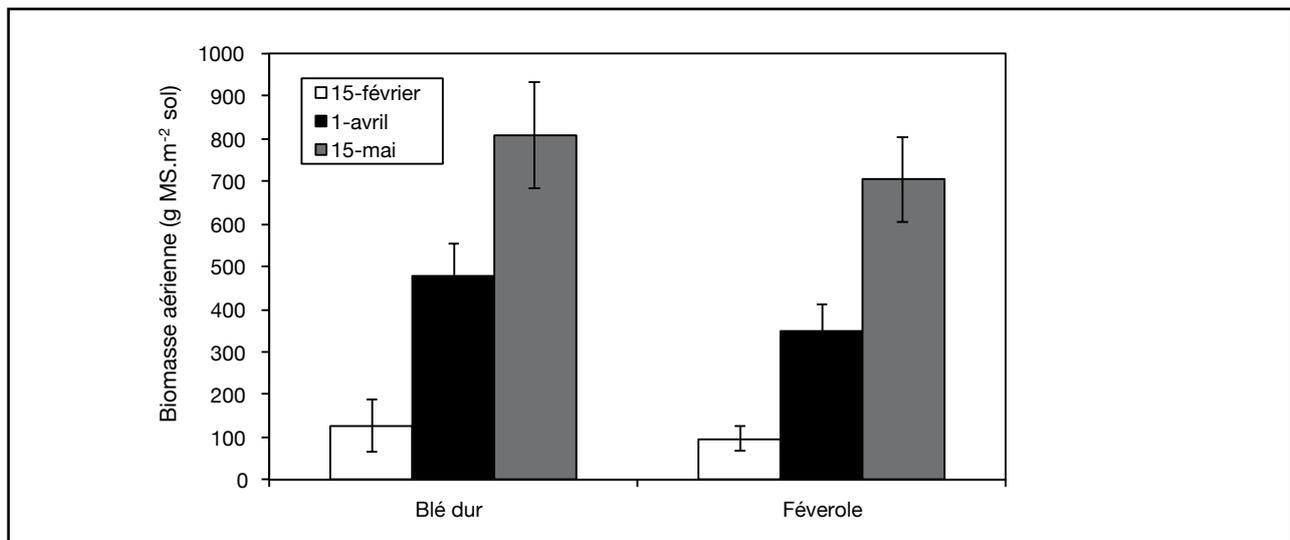
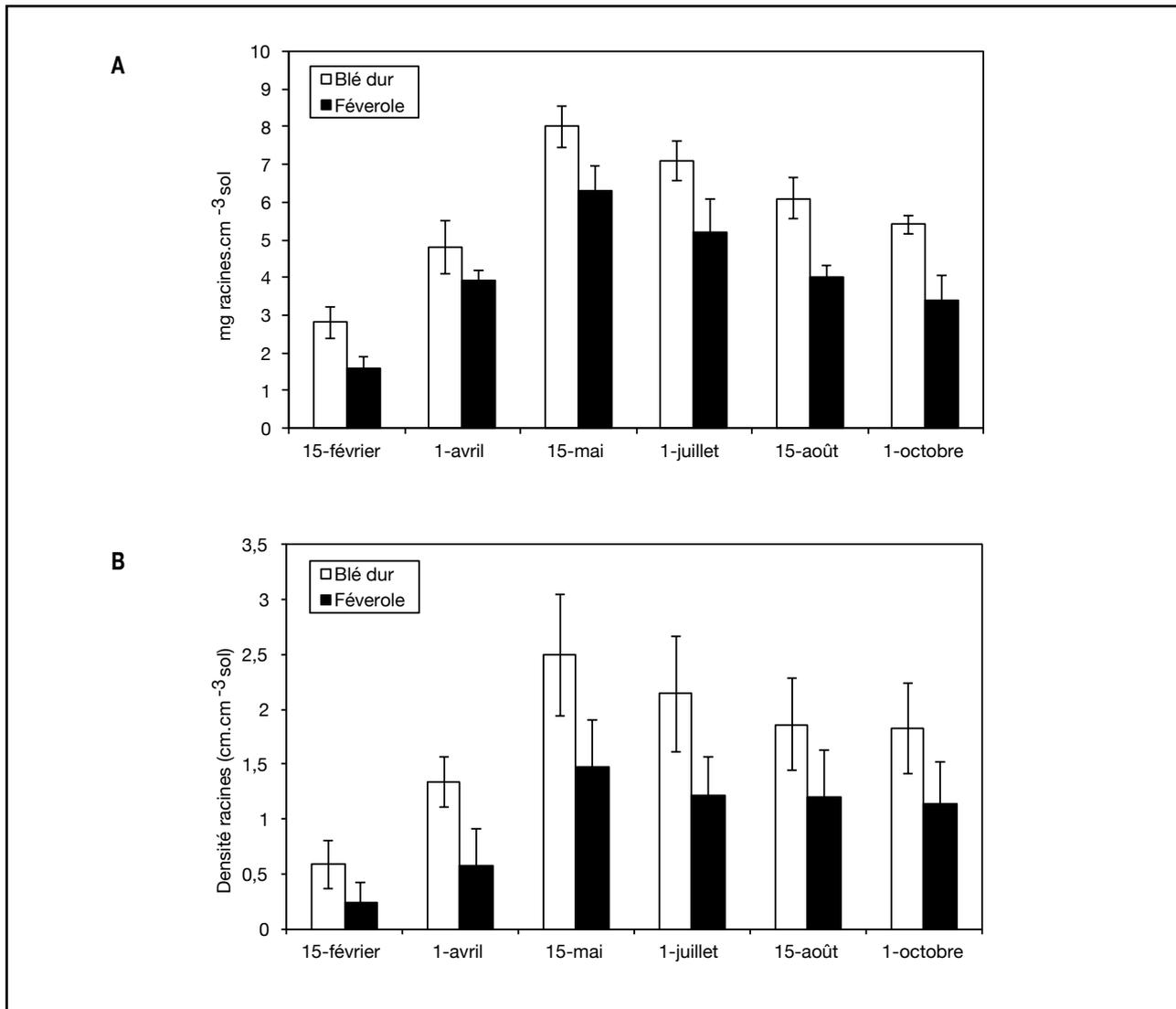


Figure 2: Evolution des paramètres racinaires au cours du temps: (a) masse et (b) densité racinaires des deux cultures, blé dur et féverole.
Figure 2: Evolution of root biomass (a) and root density (b) for durum wheat and fababean treatments.



riode succédant la récolte (*figure 2a*). Elle est significativement plus importante pour BD (blé dur) que pour F (féverole) sauf pour la date de mesure 1^{er} avril. À la fin de la période de culture, elle atteint 8 et 6,3 mg.cm⁻³ de sol respectivement pour BD et F.

La densité racinaire se développe avec l'augmentation de la masse racinaire des deux cultures (*figure 2b*). Elle est plus importante pour BD que pour F. Elle atteint une densité de 2,49 et 1,48 cm.cm⁻³ de sol à la fin du cycle de la culture, respectivement pour BD et F. Durant la période post-culturale, la densité racinaire commence à diminuer sans pour autant que cette diminution soit significative.

Le rapport «matière sèche racinaire: matière sèche aérienne» renseigne sur les conditions de nutrition hydrique et

minérale de la plante et sur la constitution d'un réservoir racinaire plus ou moins important et donc un inputs carboné plus important pour le sol (Bolinder et al., 1999). Dans notre cas, il est plus élevé au début de l'essai (0,22 pour BD et 0,17 pour F) et décroît au cours du cycle de développement (0,1 pour BD et 0,09 pour F). Les ratios obtenus sont proches de ceux donnés par Bolinder et al. (2007) dans leur revue bibliographique.

Activité deshydrogénase

L'activité microbienne globale, estimée à travers la mesure de l'activité deshydrogénase, montre un effet « culture » pour toutes les dates de mesures (à part T0) où l'on observe une augmentation signi-

Figure 3: Evolution au cours du temps de l'activité deshydrogénasique pour le blé dur, la féverole et le témoin.
Figure 3: Evolution during time of soil deshydrogenase activity in durum wheat, fababean and control treatments.

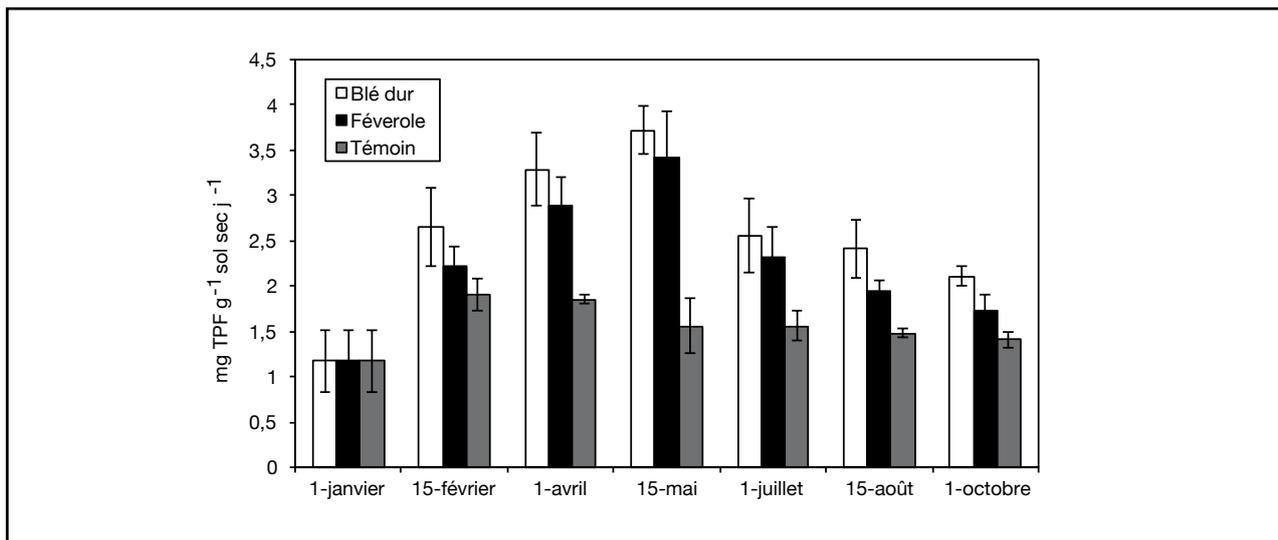
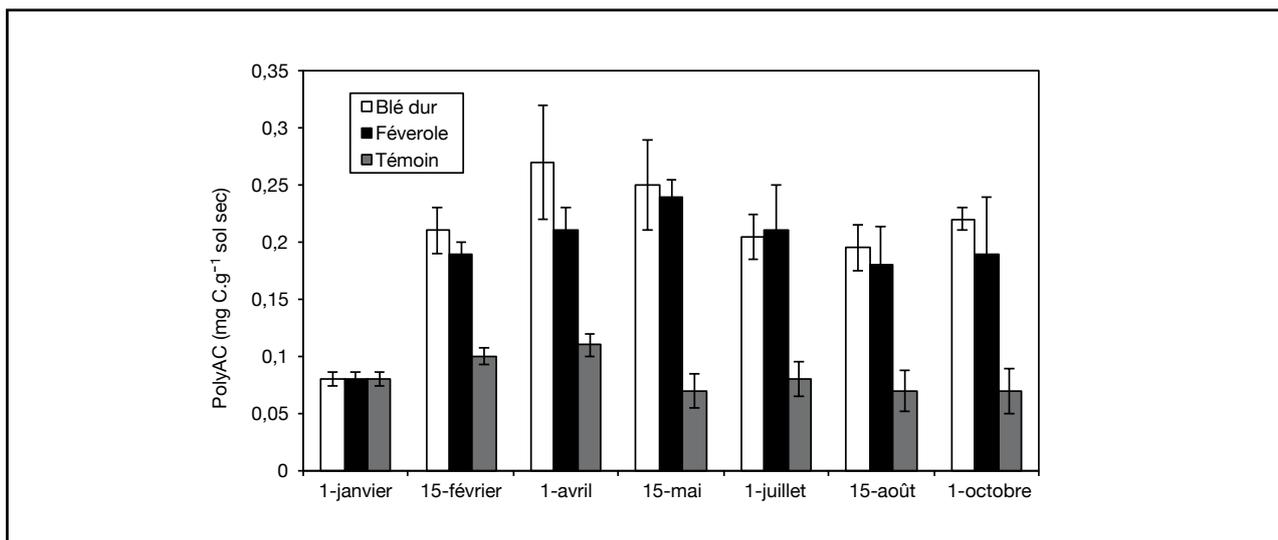


Figure 4: Evolution au cours du temps des concentrations en polysaccharides extractibles à l'acide dilué (PolyAc) pour le blé dur, la féverole et le témoin.

Figure 4: Evolution during time of acid extractible polysaccharides content in durum wheat, fababean and control treatments.

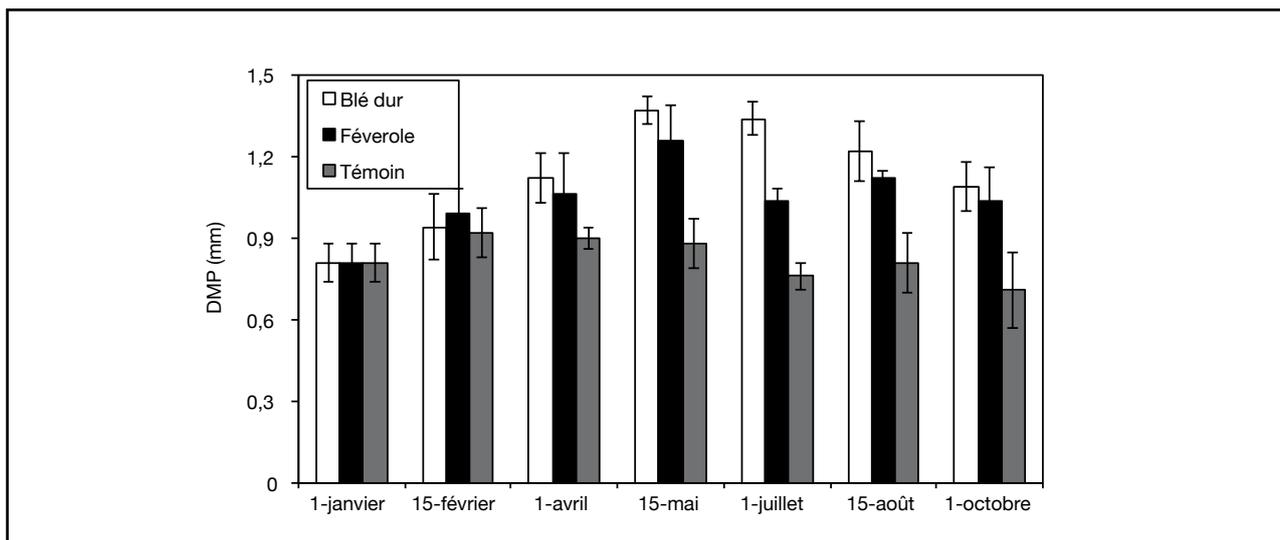


ficative de l'activité microbienne dans les bacs cultivés par rapport aux bacs sans culture (figure 3). Toutefois, l'activité microbienne n'est pas significativement différente entre les deux cultures testées.

Le niveau de l'activité deshydrogénase augmente au cours du temps, elle atteint son maximum au mois de mai avec des niveaux de $3,72 \pm 0,27$ et $3,41 \pm 0,52$ mg TPF g⁻¹ sol j⁻¹, respectivement pour BD et F. Ensuite les niveaux de l'activité deshydrogénasique diminuent, mais restent toujours supérieurs au niveau initial.

Figure 5: Evolution au cours du temps de la stabilité des agrégats vis-à-vis du test d'humectation rapide pour le blé dur, la féverole et le témoin.

Figure 5: Evolution during time of aggregate stability to fast wetting in durum wheat, fababean and control treatments.



Polysaccharides extractibles à l'acide dilué (PolyAc)

L'extraction à l'acide dilué permet de récupérer la plupart des sucres neutres, des polysaccharides des mucilages microbiens et racinaires, et des hémicelluloses (Guckert, 1973; Cheshire, 1979). Pour l'ensemble des traitements, les teneurs en PolyAc augmentent à partir de la deuxième date de mesure puis restent significativement stables au cours du temps (figure 4). Les teneurs en PolyAc sont significativement supérieures pour les traitements BD et F par rapport au témoin, mais similaires entre BD et F pour l'ensemble de la période de l'expérimentation.

Stabilité des agrégats

Durant les deux premières dates de prélèvement (janvier et mi-février), les valeurs du DMP sont statistiquement similaires pour tous les traitements (figure 5). Ensuite les valeurs de DMP augmentent progressivement ($p < 0,05$) dans les traitements avec culture par rapport au sol témoin sans culture. D'une façon globale, les niveaux de DMP sont statistiquement similaires entre BD et F. Ainsi, au moment de la récolte, le 15 mai, les valeurs de DMP atteignent leur maximum avec $1,37 \pm 0,05$ mm, $1,26 \pm 0,13$ mm et $0,88 \pm 0,09$ mm, respectivement pour BD, F et T. À la fin de la période de mesure, en octobre, les niveaux de DMP sont de $1,09 \pm 0,09$ mm, $1,04 \pm 0,12$ mm et $0,71 \pm 0,14$ mm, respectivement pour BD, F et T.

La distribution des agrégats résiduels (données non présentées), utilisée pour l'élaboration de l'indicateur DMP, montre

que l'augmentation de la stabilité des agrégats dans les traitements BD et F par rapport au témoin est essentiellement due à l'enrichissement des sols cultivés en macroagrégats de taille supérieure à 0,5 mm.

DISCUSSION

La présence des deux espèces végétales testées a amélioré la stabilité des agrégats vis-à-vis de l'action destructrice de l'eau, en augmentant leur résistance à l'éclatement suite à la compression de l'air dans la porosité des agrégats lors de leur humectation brutale. Cette amélioration significative de la stabilité de la structure par rapport au sol nu est observée à partir du 3^e mois d'installation des deux cultures testées et persiste après la récolte. D'autres études comme celles menées par Balashov et Bazzoffi (2003) ont aussi montré l'effet positif de la mise en culture sur la stabilité des agrégats du sol par rapport à un sol nu. En comparant l'effet des racines d'une céréale (ray-grass) et d'une légumineuse (trèfle) sur la stabilité des agrégats, Dufey et al. (1986) ont montré un effet positif des racines du ray-grass mais pas avec le trèfle.

L'amélioration de la stabilité des agrégats est due, en partie, à l'activité biologique dans le sol. Ainsi, en présence des deux cultures, le développement des plantes a stimulé la vie biologique dans le sol. En effet, en se développant, les racines de certaines plantes sécrètent des rhizodépôts dont la fraction soluble est riche en polysaccharides (Hütsch et al., 2002), qui permettent d'augmenter la cohésion des agrégats (Chenu, 1985; Chaney et Swift, 1986; Traore et al., 2000). Cette

augmentation de la cohésion pourrait être attribuée (i) à l'établissement de liaisons entre les particules du sol par des ponts de polymères, et (ii) à l'augmentation des forces de liaisons entre les particules du sol suite à leur recouvrement par les polysaccharides (Chenu et Guérif, 1991). Les concentrations de PolyAc ont augmenté à partir de la deuxième date de mesure (15 février) puis restent constantes au cours du temps. Elles sont supérieures pour les traitements BD et F, par rapport au témoin, du fait de la présence d'une activité racinaire et d'une activité microbienne tellurique plus importante dans les sols cultivés que dans le sol nu. Les mesures de PolyAc expliquent l'évolution de la stabilité des agrégats puisqu'une corrélation positive significative est établie entre les PolyAc et le DMP (tableau 2).

Les rhizodépôts sont généralement des composés rapidement biodégradables, riches en sucres (Hütsch et al., 2002), qui stimulent les microorganismes du sol qui à leur tour contribuent d'une façon significative à l'amélioration de la stabilité des agrégats (Chaney et Swift, 1986; Baldock et Kay., 1987). Dans notre étude, ceci est mis en évidence à l'aide de l'activité déshydrogénase, qui permet d'avoir une idée sur la respiration des microorganismes dans le sol. En effet, la présence de DB et F a permis d'augmenter l'activité respiratoire dans le sol dès que les cultures ont commencé à s'installer. L'augmentation de l'activité déshydrogénase dans le traitement témoin est due à l'humectation du sol qui a permis de stimuler les microorganismes saprophytes endogènes au sol. Une corrélation positive est aussi observée entre le DMP et l'activité déshydrogénase (tableau 2) montrant l'effet positif de l'activité microbienne globale du sol sur la stabilisation des agrégats.

Les racines des plantes permettent aussi d'augmenter la cohésion des agrégats par l'action mécanique des chevelures racinaires qui englobent les particules du sol dans leurs réseaux. Dans notre cas, une relation positive et significative est observée entre le DMP et la masse racinaire (tableau 2) suggérant la contribution des racines dans la stabilisation des agrégats.

Bien que les systèmes racinaires des deux espèces végétales cultivées aient une architecture et une densité différente,

ils ont contribué à l'amélioration de la stabilité des agrégats avec la même amplitude. Il semble donc que l'activité biologique joue un rôle plus important dans la stabilisation de la structure par rapport à la morphologie et la densité racinaire.

La diminution de la stabilité des agrégats après la période des cultures est due en partie à l'arrêt des sécrétions racinaires puisque l'activité photosynthétique des plantes a été interrompue. Cependant, après la récolte, les restitutions organiques, constituées majoritairement par la biomasse racinaire, contribueraient à l'augmentation de la quantité de carbone organique présent dans le sol comme ça a été noté par Rasse et al. (2005). Après la récolte, les conditions d'humidité et de températures ainsi que la présence de carbone labile dans le sol favorisent l'activité des micro-organismes, ce qui permet le maintien d'un niveau de stabilité structurale supérieure à celui du témoin (Dufey et al., 1986). En effet, on observe une diminution au cours du temps de la biomasse racinaire après la récolte.

Les champignons sont les microorganismes les plus efficaces à améliorer la stabilité des agrégats. Ils améliorent la stabilité structurale en consolidant les agrégats à l'aide de leur sécrétions à fort pouvoir collant (Molope et al., 1987) et par l'action mécanique de leurs hyphes (Degens, 1997), ou en diminuant la mouillabilité du sol limitant ainsi l'éclatement des agrégats (Annabi et al., 2007). Dans cette étude, nous n'avons pas suivi la biomasse fongique, mais on pourrait supposer que les champignons ont contribué dans la stabilisation des agrégats puisque la population fongique est généralement majoritaire dans les sols (Six et al., 2006) et que les racines des plantes sont souvent associées à des champignons à mycélium. L'effet de ces champignons sur la stabilisation des agrégats pourrait persister quelques mois après la mort des plantes et leur propre mort (Tisdall et Oades, 1980).

Dans le type de notre expérimentation, le choix de mesurer la stabilité structurale sur des agrégats calibrés entre 3 et 5 mm, selon le protocole proposé par Le Bissonnais et Le Souder (1995), ne reflète pas, sans doute, le comportement de l'ensemble des agrégats du sol puisque l'influence des racines

Tableau 2: Coefficients de corrélation « r » entre les paramètres étudiés. * et ** indiquent une significativité aux seuils de 5 % et 1 %, respectivement.

Table 2: Correlation coefficient « r » between followed parameters. * and ** significant at $p < 0.01$, $p < 0.05$, respectively.

	DMP	Matière sèche	Poids racines	Densité racines	Déshydrogénase
Matière sèche	0,979**				
Poids racines	0,953**	0,980**			
Densité racines	0,921**	0,956**	0,957**		
Déshydrogénase	0,825**	0,906**	0,759**	0,612*	
PolyAc	0,852**	0,789	0,793**	0,686*	0,885**

ne se limite pas aux agrégats de taille 3-5 mm. En plus, le faible volume du sol utilisé et la profondeur limitée du bac auraient certainement influencé le développement des racines, surtout dans le cas de la féverole qui a un système racinaire pivotant, ce qui aurait sans doute une influence sur le transfert de nos observations en conditions de plein champ.

CONCLUSION

L'objectif de notre étude était d'étudier l'influence de la mise en culture sur la stabilité de la structure d'un sol. Les résultats montrent un effet net de la présence des plantes de blé et dur et de féverole sur la stabilité des agrégats par rapport au sol nu. La densité racinaire et l'activité microbienne du sol expliquent cette amélioration de la stabilité structurale. La stabilisation des agrégats persiste même après la récolte des plantes en relations avec l'activité microbienne plus importante dans les sols qui ont été cultivés par rapport au sol non cultivé et un effet résiduel de l'activité racinaire.

La présence d'une culture de blé ou de féverole améliore la structure du sol et sa résistance à l'érosion hydrique. Ces deux espèces, largement cultivés en Tunisie, protégeraient donc le sol durant la période d'hiver et de printemps. Durant l'automne, et si les conditions avant l'événement pluvieux étaient bonnes pour la stimulation de l'activité microbienne, la résistance d'un sol à l'érosion hydrique devrait être plus important dans un sol qui a été cultivé l'année précédente par rapport à celui qui ne l'a pas été.

BIBLIOGRAPHIE

- Amézketa E., 1999 - Soil aggregate stability: a review. *J. Sustainable Agriculture*, 14, pp. 83-151.
- Angers D.A., et Caron J., 1998 - Plant -induced changes in soil structure: processes and feedbacks. *Biogeochemistry*, 45, pp. 55-72.
- Angers D.A., Samson N. et Légère A., 1993 - Early changes in water -stable aggregation induced by rotation and tillage in a soil under barley production. *Can. J. Soil. Sci.*, 73, pp. 51 -59.
- Annabi M., Houot S., Francou C., Poitrenaud M. et Le Bissonnais Y., 2007 - Soil aggregate stability improvement with urban composts of different maturities. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 71, pp. 413-423.
- Balashov E. et Bazzoffi P., 2003 - Aggregate water stability of sandy and clayey loam soils differently compacted with and without wheat plants. *International Agrophysics*, 17, pp. 151-155.
- Baldock J.A. et Kay B.D., 1987 - Influence of cropping history and chemical treatments on the water stable aggregation of a silt loam soil. *Can. J. Soil. Sci.*, 67, pp. 501-511.
- Bolinder M.A., Janzen H.H., Gregorich E.G., Angers D.A., et VandenBygaart A.J., 2007 - An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 118, pp. 29-42.
- Bolinder, M.A., Angers, D.A., Dubuc, J.P., 1997. Estimating shoot to root ratios and annual carbon inputs in soils for cereal crops. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 63, pp. 61-66.
- Chaney K. et Swift R.S., 1986 - Studies on aggregate stability. I. Re-formation of soil aggregates. *J. Soil. Sci.*, 37, pp. 329 -335.
- Chenu C. et Guéris J., 1991 - Mechanical strength of clay minerals as influenced by an adsorbed polysaccharide. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55, pp. 1076-1080.
- Chenu C., 1985 - Etude expérimentale des interactions argiles -polysaccharides neutres. Contribution à la connaissance des phénomènes d'agrégation d'origine biologique dans les sols. Thèse de doctorat de l'université de Paris VI, 198 p.
- Cerdà A., 1998 - Soil aggregate stability under different Mediterranean vegetation types. *Catena*, 32, pp. 73-86.
- Cheshire M.V., 1979 - Nature and origin of carbohydrates in soils. Academic Press, London, 194 p.
- De Baets S., Poesen J., Gyssels G. et Knapen A., 2006 - Effects of grass roots on the erodibility of topsoils during concentrated flow. *Geomorphology*, 76, pp. 54-67.
- Degens B.P., 1997 - Macro-aggregation of soils by biological bonding and binding mechanisms and the factors affecting these: a review. *Aust. J. Soil. Res.*, 35, pp. 431-459.
- Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers P.A. et Smith F., 1956 - Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28, pp. 350-356.
- Dufey J.E., Halen H. et Frankart R., 1986 - Evolution de la stabilité structurale du sol sous l'influence des racines de trèfle (*Trifolium pratense* L.) et de ray -grass (*Lolium multiflorum* Lmk.). Observations pendant et après culture. *Agronomie*, 6, pp. 811-817.
- Eviner V.T. et Chapin S.C., 2002 - The influence of plant species, fertilization and elevated CO₂ on soil aggregate stability. *Plant and Soil*, 246, pp. 211-219.
- Gransee A. et Wittenmayer L., 2000 - Qualitative and quantitative analysis of water -soluble root exudates in relation to plant species and development. *J. Plant. Nutr. Soil Sci.*, 163, pp. 381-385.
- Guckert A., 1973 - Contribution à l'étude des polysaccharides dans les sols et de leur rôle dans les mécanismes d'agrégation. Thèse de l'université de Nancy, 138 p.
- Gyssels G., Poesen J., Bochet E. et Li Y., 2005 - Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review. *Progress in Physical Geography*, 29, pp. 189-217.

- Hütsch B.W., Augustin J. et Merbach W., 2002 - Plant rhizodeposition - an important source for carbon turnover in soils. *J. Plant. Nutr. Soil. Sci.*, 165, pp. 397-407.
- Kort J., Collins M. et Ditsch D., 1998 - A review of soil erosion potential associated with biomass crops. *Biomass and Bioenergy*, 14, pp. 351-359.
- Le Bissonnais Y. et Le Souder C., 1995 - Mesurer la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité à la battance et à l'érosion. *Etude et Gestion des sols*, 2, pp. 43-55.
- Lynch J.M. et Bragg E., 1985 - Microorganisms and soil aggregate stability. *Advances in Soil Science*, 2, pp. 133-171.
- MARH, Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques., 2003 - Rapport sur la situation de l'impact de l'érosion sur les terres agricoles en Tunisie. 27 p.
- Mhiri A. et Bousnina H., 1998. Diagnostic agrienvironnemental de l'état des terres cultivées dans les divers systèmes de production en Tunisie. *Revue de l'Institut National Agronomique de Tunisie*, 16, pp. 209-228.
- Miller R.M. et Jastrow J.E., 1990 - Hierarchy of root and mycorrhizal fungal interactions with soil aggregation. *Soil. Biol. Biochem.*, 22, pp. 579-584.
- Molope M.B., Grieve I.C. et Page E.R., 1987 - Contribution by fungi and bacteria to aggregate stability of cultivated soils. *J. Soil. Sci.*, 38, pp. 71-77.
- Morel J.L., Habib L., Plantureux S. et Gukert A., 1991 - Influence of maize root mucilage on soil aggregate stability. *Plant and Soil*, 136, pp. 111-119.
- Nakamoto T. et Suzuki K., 2001 - Influence of soybean and maize roots on the seasonal change in soil aggregate size and stability. *Plant Production Science*, 4, pp. 317-319.
- Newman E.I., 1966 - A method of estimating the total length of root in a sample. *J. Appl. Ecol.*, 3, pp. 139-145.
- Nguyen C. 2003. Rhizodeposition of organic C by plants: mechanisms and controls. *Agronomie*, 23, pp. 375-396.
- Oades J.M., 1988 - The retention of organic matter in soils. *Biogeochemistry*, 5, pp. 35-70.
- Oades J.M., 1993 - The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma*, 56, pp. 377-400.
- ONAGRI : Observatoire Nationale de l'Agriculture. Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques., 2008 - www.onagri.nat.tn. Site consulté le 15/07/2009.
- Priha O., Grayston S., Pennanen T. et Smolander A., 1999 - Microbial activities related to C and N cycling and microbial community structure in the rhizospheres of *Pinus sylvestris*, *Picea abies* and *Betula pendula* seedling in an organic and mineral soil. *FEMS Microbial. Ecol.*, 30, pp.187-199.
- Rasse P.D., Rumpel C. et Dignac M.F. 2005 - Is soil carbon mostly root carbon? *Plant and Soil*, 269, pp. 341-356.
- Robert M. et Chenu C., 1992 - Interactions between soil minerals and microorganisms. In *Soil Biochemistry*. Ed Dekker, Inc, 7, pp. 307-393.
- Roose E., 1994 - Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Bulletin pédologique* FAO, 70, 420 p.
- Slimani M., Alouni A., Baccour H. et Laatiri L., 2002 - Analyse structurale de la pluviométrie mensuelle moyenne et fréquentielle en Tunisie. *Revue de l'Institut National Agronomique de Tunisie*, 17, pp. 39-67.
- Six J., Frey S.D., Theit R.K. et Batten K.M., 2006 - Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 70, pp. 555-569.
- Six J., Bossuyt H., Degryze S. et Deneff K., 2004 - A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil & Tillage Research*, 79, pp. 7-31.
- Styczen M.E. et Morgan R.P.C., 1995 - Engineering properties of vegetation. In *Morgan R.P.C., Rickson R.J. (Eds), Slope stabilization and erosion control: A bioengineering approach*. E&F.N. Spon, London, pp.5-58.
- Tabatabai M.A., 1982 - Soil enzymes. *Agronomy*, 9, pp. 903-947.
- Tisdall J.M. et Oades J.M., 1982 - Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil. Sci.*, 33, pp. 141-163.
- Tisdall J.M. et Oades J.M., 1980 - The effect of crop rotation on aggregation in a red-brown earth. *Aust. J. Soil. Res.*, 18, pp. 423-434.
- Traore O., Groleau-Renaud V., Plantureux S., Tubleileh A. et Bœuf-Tremblay V., 2000 - Effect of root mucilage and modelled root exudates on soil structure. *Eur. J. Soil. Sci.*, 51, pp. 575-581.
- Waldron L.J., Dakessian S. et Nemson J.A., 1983 - Shear resistance enhancement of 1.22 - meter diameter soil cross sections by pine and alfalfa roots. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 47, pp. 9-14.
- Wichern F., Mayer J., Joergensen R.G. et Torsten Müller T., 2007 - Release of C and N from roots of peas and oats and their availability to soil microorganisms. *Soil. Biol. Biochem.*, 39, pp. 2829-2839.
- Wischmeier W.H., 1959 - A rainfall erosivity index for a universal soil loss equation. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 23, pp. 246-249.
- Zhou Z.C. et Shangquan Z.P., 2007 - The effects of ryegrass roots and shoots on loess erosion under simulated rainfall. *Catena*, 70, pp. 350-355.

