

Impact De La Rotation Culturelle Et Du Mode De Semis Sur Les Composantes Physico-Chimiques Du Sol Et Analyse De L'évolution Des Mycorhizes

B. MOUELHI^{1*}, S. SLIM², S. ARFAOUI³, A. BOUSSALMI³, T. JARRAHI³, F. BEN JEDDI¹

¹Laboratoire des sciences horticoles, Institut National Agronomique de Tunisie, Université de Carthage.

²Laboratoire des sciences horticoles, Ecole Supérieure d'Agriculture de Mateur, Université de Carthage.

³Institut National des Grandes Cultures

*Corresponding author: mouelhi1979@gmail.com

Résumé- La comparaison de deux modes de semis : conventionnel et sans labour, dans une rotation biennale dont la culture principale est le blé dur, variété « KARIM » (*Triticum durum* Desf), a montré que la densité apparente dépende de l'effet du précédent cultural et du mode de semis. Le pH du sol est influencé par l'effet des légumineuses, quel que soit le mode de semis, et qui tend vers l'acidité par rapport aux autres précédents culturaux (orge et avoine). Alors, la teneur en matière organique (MO) subit des changements, durant 5 ans de rotations, au niveau de la profondeur de 0 à 10 cm et de 10 à 20 cm et en faveur du précédent féverole surtout en semis conventionnel. Ce pendant, la teneur en phosphate assimilable (P₂O₅) dans trois profondeurs sont corrélées avec le précédent cultural (PC) avec une interaction significative entre le mode de semis et le précédent cultural. Tous ces paramètres ont une influence sur la vie microbienne du sol, d'où, l'effet très significatif du précédent cultural sur la population mycorhizienne étudiée en faveur du précédent la féverole en semis direct et le précédent avoine en semis conventionnel. Le précédent orge n'améliore pas la population des champignons mycorhiziens dans le sol ce qui explique les faibles rendements en blé dur.

Mot clés : Semis direct- Rotation – Blé dur - Matière organique – pH – Mycorhizes

I. INTRODUCTION

En Tunisie, La monoculture des céréales couvre actuellement plus de 70% des emblavures céréalières. Ces surfaces occupent toute sorte de terrain allant des plaines inondables aux parcelles perchées sur les hauteurs à forte pente dépassant 20 % [17]. De plus, Les sols des régions semi-arides tunisiennes sont généralement pauvres en matière organique (Mo) [34] et les rendements des grandes cultures y sont très sujets à la variabilité spatiale et temporelle des précipitations. Face à cette contrainte, l'amélioration de la fertilité du sol s'appuie sur une

redynamisation organique et biologique des sols et une restructuration de sa partie superficielle qui au lieu d'être sensible à la dégradation, deviendra un support pour une agriculture durable [25]. Les champignons mycorhiziens à arbuscules présentent l'un des groupes clés pour assurer la productivité et la sécurité culturale [14]. Ces derniers sont connus pour leur participation dans l'amélioration de l'absorption des éléments minéraux en particulier le phosphore [20, 13]. Ainsi, les objectifs de ce travail consistent à : comparer deux modes de semis : le semis conventionnel et le semis direct qui sont l'objet de plusieurs recherches en Tunisie, depuis 1999; d'étudier l'effet de la rotation des cultures sur les caractéristiques physico-chimiques du sol et diagnostiquer la population mycorhizienne dans les systèmes céréaliers en étudiant relation avec les rotations des cultures et les différents modes de semis utilisés.

I- Matériels et Méthodes

Ce travail consiste à étudier un système de rotation biennale pratiqué dans les régions semi aride supérieures du nord de la Tunisie où la culture principale est le blé dur avec trois précédents culturaux (orge, avoine et féverole) avec deux modes de semis (semis direct et semis conventionnel) dans un système de culture pluviale.

1- Site d'expérimentation

L'étude a été réalisée dans le site expérimental Kodiat, appartenant à l'Institut National des Grandes Cultures (I.N.G.C.) à Bou-Salem au gouvernorat de Jendouba. Le sol de la station est de nature argileuse. La station appartient à l'étage bioclimatique semi aride supérieur [12]. L'étude a été réalisée durant les cinq campagnes agricoles de 2009/2010, à 2013/2014.

2- Matériel végétal :

Dans cet essai expérimental, on a utilisé des semences certifiées de matériel végétal suivant :

✓ Le blé dur, variété « KARIM » (*Triticum durum* Desf) qui est la variété la plus cultivée en Tunisie avec plus de 400 milles ha et couvre environ 50 % des emblavures en blé dur en Tunisie [18].

3- Essai expérimentales

L'essai comporte 48 bloc (24 bloc pour le semis direct et 24 blocs en semis conventionnel) et d'une superficie de 200 m² pour chaque bloc, espacée de 2 m entre eux et sous un régime pluviale.

4-Les paramètres étudiés

4-1- pH du sol

Le principe de cette mesure est d'introduire 10 g de terre séchée à l'air et passée à travers un tamis de 2 mm, dans un bécher de 50 ml avec 25 ml d'eau distillée. La suspension est agitée pendant 2 heures avant de déterminer son pH à l'aide d'un pH mètre. Avant utilisation, le pH mètre a été étalonné par des solutions tampons [30].

4-2- La densité apparente

La mesure de la densité apparente, selon la méthode du cylindre consiste à enfoncer dans le sol un cylindre en métal ayant une extrémité biseauté vers l'extérieur et un volume interne connu de 98,17 cm³. Puis, ce cylindre est rempli de terre sur place avant d'être retiré. Ce même volume est pesé avant et après séchage à 105°C pendant 48 heures [8].

4-3- La matière organique

Le dosage de la matière organique dans le sol est réalisé à partir du dosage du carbone qu'il contient. La méthode, de détermination du % de C organique, est basée sur l'oxydation de ce dernier par le bichromate de potassium en milieu acide par le H₂SO₄ [1].

$$\%C = V-v * 0,306$$

v : volume v de sel de Mohr.

V : le volume (ml) de sel de Mohr pour le témoin.

% C : la teneur en carbone organique

Pour obtenir le pourcentage de matière organique on multiplie :

$$\% MO = 1.724 * \%C$$

4-5- Détermination du phosphore assimilable des sols

La méthode OLSEN est aujourd'hui reconnue comme étant la plus performante pour sols calcaires, l'extraction se fait par une solution bicarbonate de sodium (NaHCO₃), en présence de charbon actif, après agitation pendant une demi-heure et filtration, le filtrat est dosé par une spectrophotométrie avec une longueur d'onde de 840nm [9].

4-6- Taux de mycorhization de blé dur à trois précédents culturels sous deux modes de semis

L'analyse de ce paramètre doit passer de plusieurs étapes qui sont le Lavage, l'éclaircissement, la coloration des mycorhizes et le montage des lames et l'observation. Pour chaque unité expérimentale, 6 lames ont été préparées, soit 90 fragments par unité expérimentale. Les taux de colonisation, d'arbuscules et de vésicules ont été calculés comme suit [23]:

$$\% \text{ colonisation mychorizienne} = 100 \times (G - P) / G$$

$$\% \text{ arbuscules} = 100 \times (Q + S) / G$$

$$\% \text{ vésicules} = 100 \times (r + S) / G$$

G: nombre d'intersections (observation des fragments);

P: aucune structure fongique;

Q: nombre d'arbuscules;

S: nombre d'arbuscules et vésicules; et

r: nombre de vésicules.

5- Analyse statistiques :

Le traitement des données a été réalisé par les logiciels Excel (version 2007) pour l'analyse descriptive et la construction des graphiques et le logiciel Statistica (version 7) pour l'analyse des variances (ANOVA) et l'analyse en composantes principales [35].

II -Résultats

1- La densité apparente (da)

La valeur de la densité apparente, la plus élevée est enregistrée pour le précédent féverole, en semis direct avec 1.47±0.03 g/cm³, durant la 5^{ème} campagne agricole (2013/2014) (figure 1). Alors que la faible moyenne de la densité apparente est enregistrée pour le blé due à précédent orge durant les campagnes agricoles 2009/2010 et 2012/2013 avec une valeur de 1.4±0.01 g/cm³ en semis conventionnel. De plus, l'analyse statistique de l'anova au seuil de 5%, montre qu'il existe une différence très significative entre les différents précédents culturels (orge, avoine et féveroles) quelques soit la campagne agricole et le mode de semis. De plus, l'analyse statistique montre aussi qu'il y a une différence significative entre la densité apparente de deux modes de semis (conventionnel et non labour) indépendamment du précédent et de campagne agricole. une différence significative de densité apparente dans chaque campagne entre les deux modes de semis quelques soit le précédent cultural. De plus, il n'y a pas de différence significative entre les campagnes agricoles (p=0.30). Aussi, l'absence d'une différence significative entre l'interaction des variables précédents culturels et modes de semis vue que l'effet précédent cultural implique un changement sur la densité apparente. Mais, l'effet mode de semis en fonction des

campagnes agricole n'engendre pas une différence significative quel que soit le précédent cultural. Alors, l'interaction de trois variables mode de semis, précédent cultural et campagnes agricoles est significative ($p=0,04$).

2-Le pH

L'analyse statistique de l'anova au seuil de 5 %, de la figure 2, montre qu'il y a une différence significative au niveau des précédents culturaux quel que soit le mode de semis et les campagnes agricoles, cette différence commence à partir de la première campagne agricoles. Pour les modes de semis, il n'existe pas de différence significative quel que soit le précédent cultural et la campagne agricoles. Les interactions entre mode de semis et précédent cultural sont très significatives ($p=0.000001$) et aussi l'interaction entre les campagnes agricoles en fonction des précédents culturaux. De plus, l'interaction entre le mode de semis et les campagnes agricoles sont aussi significatifs ($p=0,04$). Donc, le pH est influencé seulement par le précédent cultural et les successions des campagnes agricoles.

3-La matière organique (MO)

Les échantillons de la matière organique ont été pris sur trois profils (0-10 cm), (10 à 20 cm) et (20 à 40 cm) selon le positionnement de la masse racinaire de la plante et elle est représentée dans la figure 3. L'observation de la moyenne de trois profils, montre que pour le semis direct, il existe une différence significative entre les trois précédents culturaux ($p=0,02$) et aussi une différence hautement significative entre les campagnes agricoles quel que soit le précédent cultural. L'interaction entre ces deux variables n'existe pas (figure 3).

Pour le semis conventionnel, il existe une différence hautement significative entre les précédents culturaux. De même, pour les campagnes agricoles, la différence est significative quel que soit le précédent ($p= 0.033$). En plus, il n'y a pas d'interaction significative entre les précédents culturaux en fonction des campagnes agricoles. Ceci est approuvé, lorsqu'on compare les deux modes de semis, où on constate qu'il y a une différence hautement significative entre les précédents culturaux indépendamment de variables mode de semis et campagnes agricoles. De plus, les campagnes agricoles sont hautement significatives. L'interaction de précédent cultural en fonction de mode de semis est significative ($p = 0.01$) et aussi l'interaction mode de semis en fonction du temps est significative ($p= 0.03$). Cependant, l'interaction des précédents culturaux en fonction de campagnes agricoles est non significatif et donc, l'interaction mode de semis en fonction de précédent cultural et des campagnes agricoles est non significative. D'où l'effet mode de semis en fonction de précédent cultural implique un changement au niveau de la moyenne de la matière organique sur trois profils surtout avec le précédent

féverole en semis direct et aussi avec le précédent avoine en semis direct à une profondeur entre (10 à 20 cm).

4- Le phosphate assimilable (P_2O_5)

Au niveau du profondeur entre 0 et 10 cm, en semis conventionnel, on observe que le précédent orge a la valeur la plus élevée avec 34.13 ± 3.69 ppm durant la campagne 2011/2012 et que la valeur la plus faible est celle de 17.87 ± 2.57 ppm durant la campagne 2010/2011 (figure 4-a). En semis direct, (figure 4- b), c'est le précédent avoine qui a la moyenne la plus élevée de 34.78 ± 5.71 ppm durant la campagne 2010/2011. De même le précédent féverole présente une valeur de 34.59 ± 4.07 ppm durant la campagne 2012/2013. La valeur la plus faible dans ce profil est enregistrée pour le précédent orge durant la campagne 2011/2012 avec valeur de 18.8 ± 8.71 ppm.

En comparant l'effet de deux mode de semis, (figures 4 -c et 4-d), l'analyse statistique de l'anova au seuil de 5 %, montre qu'il existe un effet hautement significatif entre le précédent cultural quelque soit la campagne agricole ou le mode de semis. Aussi, la variable mode de semis présente une différence significatif indépendamment de précédent cultural ou de la campagne agricole ($p= 0.0037$). Mais, on note l'absence d'une interaction significative du précédent cultural en fonction de mode de semis et de campagnes agricoles.

Le précédent féverole a la valeur la plus élevée avec 28.44 ± 4.02 ppm durant la campagne 2013/2014 et le précédent avoine a la valeur la plus faible avec 13.8 ± 2.6 ppm durant la campagne 2010/2011. De plus, le précédent féverole a la moyenne des 5 campagnes la plus élevée de 5.31 % par apport au précédent orge et de 20.8 % plus élevée par apport au précédent avoine (figure 4-e). En semis sans labour, la moyenne de phosphate la plus élevée est celle de précédent féverole durant la campagne 2012/2013 avec une valeur de 37.7 ± 3.32 ppm et la faible valeur est de 10.1 ± 4.89 ppm pour le précédent avoine en 2010/2011. Le précédent féverole a fait une chute de 21.25 % durant la dernière campagne agricole (figure 4-f).

Finalement, on constate qu'en semis conventionnel, pour les trois mesures de phosphates en différentes profondeurs, il existe une différence très significative entre les précédents culturaux quel que soient les campagnes agricoles. De plus, la variable campagne agricoles est significative ($p= 0.04$). Mais, il n'existe pas d'interaction significative entre les précédents culturaux et les campagnes agricoles. De même pour le mode semis direct, seulement les précédents culturaux ont une différence très significative. En comparant les deux modes de semis, on observe qu'il existe une différence significative pour les précédents culturaux et aussi pour les campagnes agricoles. Mais, une seule interaction est significative de précédent cultural en fonction de mode de semis (figure 4).

5- Analyse de l'évolution des mycorhizes

5-1- Taux de colonisation totale (TCT)

La comparaison de deux modes de semis a montré que, le TCT du blé dur à précédent orge, en semis conventionnel est élevé à celui en semis direct avec 33.42 % et le TCT du blé dur à précédent avoine, en semis conventionnel est plus élevée que celle en semis direct avec 81.22 %. Ce pendant, le Taux de colonisation totale de mycorhize chez les racines de blé dur à précédent légumineuse, en semis direct, est élevé à celle en semis conventionnel avec 77.3 %. Ces résultats sont confirmés par une analyse statistique de l'anova au seuil de 5 %, qui montre l'effet significatif du précédent cultural sur le TCT et en plus, une interaction très hautement significative entre le précédent cultural en fonction de mode de semis (tableau 1).

5-2-Taux de colonisation d'arbuscules

L'analyse de l'effet de deux techniques de semis sur le taux de colonisation d'arbuscules a montré qu'en semis conventionnel les TCA du blé dur à précédent céréales (orge et avoine) sont plus élevée que pour celui du même précédent en semis direct. De plus, le TCA du blé dur à précédent avoine est plus élevée par rapport aux autres précédents en semis conventionnel (tableau2). Alors, en semis direct, le TCA le plus élevée est enregistré pour le blé dur à précédent féverole. Donc, l'effet précédent cultural est très significatif, selon l'analyse statistique de l'anova au seuil de 5%. L'effet mode de semis n'est pas significatif sur le TCA. Cependant, le mode de semis peut avoir un effet hautement significatif lorsqu'il est en interaction avec le précédent cultural ce qui est le cas de féverole qui a un taux faible en semis conventionnel et un taux très élevée en semis direct et aussi pour le blé dur à précédent avoine qui a un taux élevée en semis classique et faible en semis sans labour.

5-3-Taux de colonisation des vésicules (TCV)

La comparaison entre les deux modes de semis, a montré que les légumineuses ont le taux de colonisation des vésicules le plus faible en semis conventionnel, durant les deux campagnes agricoles. Mais, en semis direct, ils ont le TCV le plus élevées par rapport au TCV de blé dur à précédent céréales. Le TCV de blé dur à précédent orge n'a pas dépassé 4 % et a conservé le même taux durant les deux campagnes agricoles. Alors, le blé dur à précédent avoine, a eu le taux le plus élevée (15.56 ± 5.75 %). Ces résultats sont confirmés par l'analyse statistique de l'anova au seuil 5 %, qui a montré l'existence d'une différence très significative des précédents culturaux. Mais, l'effet du mode de semis n'est pas significatif que lorsqu'ils sont en interaction avec le précédent cultural (tableau 3).

III-Discussions :

La moyenne de la densité apparente est dépendante de l'effet de précédent cultural. Mais, selon les campagnes agricoles, ce paramètre est influencé par l'effet mode de semis. durant les cinq années de l'essai expérimental, la moyenne de la densité apparente en semis direct, quel que soit le précédent cultural, est légèrement supérieur qu'en semis conventionnel ce qui explique l'effet très significatif du mode de semis. l'effet précédent cultural est très significatif en faveur des légumineuses par rapport aux précédents céréales orge et avoine avec une moyenne de 1.05 %. L'interaction mode de semis et précédent cultural est non significatif mais l'interaction précédent et campagnes agricoles est significatif surtout en semis direct entre les précédents légumineuse et avoine. Ces résultats sont confirmés par [10], qui a trouvé une différence significative entre le semis direct et le travail du sol conventionnel avec une moyenne de 8.32 % sur la profondeur de 0 à 7 cm et de 3% par rapport au travail du sol réduit. De plus, [29] a trouvé que la densité apparente en semis direct est élevée qu'en semis conventionnel avec une moyenne de 21%. [28] a confirmé les observations de [36], que la densité apparente est principalement contrôlée par des facteurs culturaux, hydrologiques et biologiques et que l'amélioration de la densité apparente en semis direct a besoin de plusieurs années. Ainsi, [3] a constaté que le semis direct et le semis conventionnel n'avaient aucune différence significative entre eux au niveau de la densité apparente et ceci est approuvé par [15, 32, 19].

Pour le pH, l'effet du précédent cultural est en faveur des légumineuses, quel que soit le mode de semis, où le pH tend vers l'acidité par rapport aux autres précédents céréales (orge et avoine) avec moins de 1.5 % en semis direct et de 1.8 % en semis conventionnel. D'après, la classification de Denis, en 2000, les résultats de pH ont montré que le sol est basique et que l'effet du précédent cultural en marge des années avec les légumineuses tend de diminuer jusqu'à le stade pH neutre. Pour le précédent avoine, quel que soit le mode de semis, il a le pH le plus élevée par rapport aux autres précédents et qui tend vers l'hyper basicité. [27] a montré que le sol de blé dur de la variété « Karim » à précédent légumineuse, est moins basique que le pH du sol qui comporte une monoculture de blé dure de 7 ans avec moins de 1.43 % et que le pH du sol comportant blé dur à précédent Sulla du nord en travail du sol réduit est légèrement moins basique que pour le travail du sol classique avec moins de 0.24 %. Ces résultats sont confirmés par [22], qui ont montré que le pH du sol en semis direct diminue légèrement le pH du sol. Dans cet essai expérimental, l'effet mode de semis est non significatif que lorsqu'il est en intersection avec l'effet précédent cultural.

Au niveau de la matière organique, d'après, [29] qui a déterminé qu'au niveau de la profondeur de 0 à 10 cm, la matière organique est en faveur du semis direct avec 24 % ce qui conforme avec nos

résultats qui est d'une moyenne de 7.16 % (une différence de 11.73 % pour le blé dur à précédent orge) et ces résultats sont conformes avec [24] pour l'étude de semis direct des céréales au Maroc. Pour la profondeur de 10 à 20 cm, [29] a montré que la teneur en matière organique du semis direct est plus élevée qu'en travail classique avec une différence de moyenne de 28 % et une teneur de 2.51 % pour le semis sans labour ce qui est conforme avec notre essai pour les sols qui comportent le blé dur à précédents orge et avoine pendant les cinq années d'essais où la différence entre semis direct et conventionnel est de 12.12 %. La moyenne de la teneur de matière organique, en cinq ans d'essai pour les sols de blé dur à précédent féverole ne présente pas de différence ce qui prouve l'effet du précédent légumineuse, en semis conventionnel, qui accomplit le rôle du semis direct [4]. Pour la profondeur de 20 à 40 cm, le teneur en matière organique est en faveur de semis direct qui passe d'une différence de 12.1% par apport en semis conventionnel et le teneur est de 1.24 à 1.54 % en semis direct ce qui conforme avec les résultats de [29]. Les résultats de la matière organique sont conformes avec les résultats trouvés par [5] qui ont également affirmés, après une expérimentation de trois années, que le semis direct améliore le taux de MO dans le sol et aussi [7] ont déterminé que le taux de la matière organique au Maroc évoluent de façon remarquable sous le semis sous couvert végétal après 5 ans de pratiques. Alors [33] a montré que le semis direct a une teneur en matière organique élevée de 8 % en profondeur de 0 à 10 cm et de 12.5 % dans la profondeur de 10 à 20 cm. Cependant, pour la profondeur de 20 à 40 cm, le semis conventionnel a la teneur en matière organique la plus élevée que le semis sans labour avec 21.4 % et ceci est due aux résidus de la culture précédente qui sont enfouis en profondeur en semis classique par le retournement du sol ce qui est en accord avec ceux de [6] qui ont trouvé la même tendance pour les profondeurs de 0-10 et 10-20 cm après 10 ans d'essai et aussi avec [10] qui ont montré que le taux de matière organique en profondeur de 20 à 40 cm pour le semis direct est faible par apport en semis conventionnel.

Pour le phosphate assimilable (P_2O_5), il existe un effet significatif lorsqu'il ya une interaction entre le mode de semis et le précédent cultural et aussi entre le mode de semis en fonction des campagnes agricoles ceci est confirmé par [14] qui a observé une augmentation de la teneur de P_2O_5 assimilable des sols sous le semis direct, par rapport au semis conventionnel et qu'il existe un effet temps du semis direct à l'horizon de 0 à 10 cm et ceci est due aux résidus des cultures précédentes décomposées et qui libèrent des éléments minéraux tels que le phosphore et qui se traduisent par une meilleure nutrition minérale des cultures et aussi par une économie des intrants et ces résultats sont affirmés par [35] en Australie, après 9 ans de semis direct. Aussi, le sol à précédent légumineuse est toujours riche en

phosphate quelques soit la profondeur et le mode de semis par apport aux autres sol avec une moyenne de 28 % en semis direct et de 11 % en semis conventionnel ces résultats ont la même tendance que les observations de [35] et [4] surtout dans les horizons de 10 à 20 et de 20 à 40 cm. En semis conventionnel, dans les trois horizons de mesures, le P_2O_5 du sol à précédent orge est plus élevée à celui de l'avoine avec une moyenne de 8.33 %. Alors qu'en semis direct le P_2O_5 du sol à précédent avoine est plus élevée qu'en sol à précédent orge avec une moyenne de 17.4% ce qui est de la même tendance par les observations de [31].

Pour les champignons mycorrhiziens qui facilitent pour les plantes l'accès aux substances nutritives, en particulier au phosphore, mais également à l'azote et à l'eau en rendant accessibles grâce à leurs hyphes jusqu'aux les plus petits pores du sol inatteignables pour les racines des plantes. En contrepartie, les plantes fournissent aux champignons une partie des hydrates de carbone qu'elles ont assimilés (énergie) [26]. D'après, [2], il a observé que le niveau de mycorrhization dépend surtout des techniques culturales employées, même si des interactions existent avec les caractéristiques physico chimiques de la parcelle et que le principal facteur limitant la mycorrhization est un niveau excessif de phosphore soluble dans le sol puisque la forte disponibilité du phosphore dans le sol amène la plante à se passer du champignon et donc à réduire le taux de mycorrhization. La monoculture céréalière diminue le taux des endomycorhize dans le sol approuvé par les mesures de début à la fin de cycle de la culture par apport à une agriculture raisonnée basée sur les rotations des cultures [38]. [31] a déterminé l'importance du phosphate due aux pratiques culturales comme le mode de semis et le précédent cultural pour le développement de la population mycorrhizienne du sol et le déblocage du phosphate qui caractérise les sols des grandes cultures surtout en agriculture biologique et en semis direct où la dégradation des résidus de la féverole riche en phosphate permettent d'améliorer la population mycorrhizienne pour les cultures suivantes, ce qui permet d'interpréter l'existence, dans les sols à précédent féveroles, une réserve de phosphore suffisante pour alimenter des plantes à condition qu'elles soient bien mycorrhizées. Ce qui conforme avec les résultats de [26] qui ont trouvé lors d'une étude de rotation de 6 ans, sur un sol en semis direct de 20 ans en suisse, que le taux de mycorrhize pour les légumineuses (pois protéagineuse) accumule plus de mycorrhize que le blé tendre et l'orge avec une moyenne de 24 % et ceci en semis direct avec un nombre élevée de 39 espèces de champignons mycorrhiziens en semis direct et de 25 espèces en semis conventionnel.

Conclusion

Les analyses de la partie de développement des racines, ont montré que la densité apparente est dépendante de l'effet de précédent cultural et est

influencé par l'effet mode de semis. Pour le pH, l'effet du précédent cultural est en faveur des légumineuses, quel que soit le mode de semis, où le pH tend vers l'acidité par rapport aux autres précédents céréales (Orge et Avoine). Alors, la matière organique, au niveau de la profondeur de 0 à 10 cm, est en faveur du semis direct aussi pour la profondeur de 10 à 20 et en cinq ans d'essai pour les sols de blé dur à précédent féverole qui ne présentent pas de différence ce qui prouve l'effet du précédent légumineuse, en semis conventionnel, qui accomplisse le rôle du semis direct [4]. Pour la profondeur de 20 à 40 cm, le teneur en matière organique est en faveur de semis direct qui passe d'une différence de 12.1% par apport en semis conventionnel. Alors, la teneur en phosphate assimilable, en trois profondeurs, est corrélée avec le précédent cultural, et il existe un effet significatif que lorsqu'il y a une interaction entre le mode de semis et le précédent cultural et aussi entre le mode de semis en fonction des campagnes agricoles. Le sol à précédent légumineuse est toujours riche en phosphate quel que soit la profondeur et le mode de semis par apport aux autres sols avec une moyenne de 28 % en semis direct et de 11 % en semis conventionnel. Les observations de ces paramètres sont influençables sur la vie microbienne du sol surtout les paramètres d'acidité et du phosphate assimilable, d'où, l'effet très significatif du précédent cultural sur la population mychorizienne étudiée pour le précédent féverole, en semis direct et le précédent avoine, en semis conventionnel. Pour le précédent orge n'est pas bien adopté au développement de la population mychorizienne dans le sol de l'essai ce qui explique les faibles rendements du blé dur existants et le pH élevé.

Références bibliographiques

- [1] **AFNOR, 2005.** Norme sur la méthode d'incubation en conditions contrôlées. Normalisation française XPU 44-163.
- [2] **Alvarez R., C. R. Alvarez. et G. Lorenzo. 2002.** Carbon dioxide fluxes following tillage from a mollisol in the Argentine Rolling Pampa. *European Journal of Soil Biology* 37:161-166.
- [3] **Babba H., 2010.** Evaluation du compactage du sol sous l'effet du semis direct. Projet De Fin D'études Du Cycle Ingénieur. Institut National Agronomique De Tunisie p 32 -45.
- [4] **Ben Jeddi F. 2005.** *Hedysarum coronarium* L.: variation génétique, création variétale et utilisation dans des rotations tunisiennes. *Thèse de Doctorat en Sciences Biologiques Appliquées.* Université de Gent/Belgique, Faculté des Sciences en Bio-ingénierie Gent-Belgique. 203p.
- [5] **Benhammouda M., L. Guesmi, K. Nasr , M. Khammassi. 2004.** Evolution de la matière organique en semis direct. Dans : Actes des deuxièmes

rencontres méditerranéennes sur le semis direct, Tunisie. 104- 107.

- [6] **Benito A. et Sombrero A., 2006.** Changes in soil chemical properties under three tillage systems in a long-term experiment. Troisièmes rencontres méditerranéennes du semis direct, Zaragoza, Espagne . Zaragoza : Options Méditerranéennes, Séminaires Méditerranéens, 69 (155-159).
- [7] **Bessam F. et Mrabet R. 2001.** Time influence of no tillage on organic matter and its quality of a vertic Calcixeroll in a semiarid area of Morocco. Garcia-Torres et al. (Eds). In: proceedings of International Congress on Conservation Agriculture. Madrid, Spain. October 1-5, 2001. Vol. 2. pp 281-286.
- [8] **Blake G. R. Hartge K.H. 1986.** Bulk density. In: Klute A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1. Agronomy second ed. American Society of Agronomy*, Madison, WI, USA, pp. 363-375.
- [9] **Bouddabous K., 2009.** Dynamique des éléments fertilisants (n, p et k) en agriculture de conservation. *Mastère en science du sol et environnement.* Institut National Agronomique de Tunisie p 31 -64
- [10] **Boudiar R., 2013.** Etude Comparative Des Effets De Travail Du Sol Conventionnel Et Le Semis Direct Sur L'évolution du sol en région semi-aride. Magister de recherche. Université Ferhat Abbas Sétif 1 . Faculté Des Sciences De La Nature Et De La Vie P 37 -78
- [12] **Bounacer N. 2013.** Evaluation agronomique des associations Blé dur/protéagineuses. Projet De Fin D'études Du Cycle Ingénieur. Institut National Agronomique De Tunisie p 14 – 58.
- [13] **Bush, J.K. 2008.** The potential role of mycorrhizae in the growth and establishment of *Juniperus* seedlings. In: Van Auken, O.W. (Ed.), *Western American Juniperus Communities.* Springer, New York, 111-130 pp.
- [14] **Chibani R., 2011.** Evaluation de la pratique du Semis Direct en Tunisie : Stabilité structurale et séquestration du carbone dans les Sols p21.
- [15] **Dam, R. F., Mehdi, B. B., Burgess, M. S. E., Madramootoo, C. A., Mehuys, G. R. et Callum, I. R. 2005.** Soil bulk density and crop yield under eleven consecutive years of corn with different tillage and residue practices in a sandy loam soil in central Canada. *Soil and Tillage Research.* 1, 84: 41-53.
- [16] **Deirdre C.R., Killham K., Bending G.D., Baggs E., Weih M. and Hodge A. 2009.** Mycorrhizas and biomass crops: opportunities for future sustainable development. *Trends in Plant Science.* 14: 542-549.
- [17] **DGPA., 2014 .** Base de données service des statistiques de la Direction Générale de la Production

Agricole. Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques (Tunisie).

[18] **DGPA. 2015.** Base de données service des statistiques de la Direction Générale de la Production Agricole. Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques (Tunisie).

[19] **Filipovic, D., Husnjak, S., Kosutic, S. et Gospodaric, Z. 2006.** Effects of tillage systems on compaction and crop yield of Albic Luvisol in Croatia. *Journal of Terramechanics*, 2, 43: 177-189.

[20] **Gaur A. and Adholeya A. 2004.** Prospects of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. *Current Science*. 86: 528-534.

[21] **Institution de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur Agricoles**, 2014. Catalogue des obtentions végétales et des brevets p7-15

[22] **Kribaa M., Hallaire S. et Curmi J. 2001.** Effects of tillage methods on soil hydraulic conductivity and durum wheat grain yield in semi-arid area. *Soil and Tillage* 37:17-28.

[23] **Labidi S., Nasr H., Zouaghi M., et Wallander H.; 2007.** Effects of compost addition on extra-radical growth of arbuscular mycorrhizal fungi in *acacia tortilis* sp. *Radianna savanna* in a pre-Saharan area. *Applied soil ecology* N° 35: 184-192.

[24] **Laghrour M., Moussadek R., A. Zouahri A., Mekkaoui M., Dahan R., El Mourid M. 2014.** Impact du semis direct sur les propriétés physiques d'un sol argileux au Maroc central. *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (2) (2015) 391-396 Laghrour et al. ISSN : 2028-2508 CODEN: JMESCEN 391

[25] **Lahlou S., Ouadia M., Malam Issa O., Le Bissonnais Y. et Mrabet R. 2005.** Modification de la porosité du sol sous les techniques culturales de conservation en zone semi-aride Marocaine. *Etude et Gestion des Sols*. 12: 69_76.

[26] **Maurer C., Rüdy M, Chervet A., Turny W G., Flisch R Et Oehl F., 2015.** Champignons mycorrhiziens et systèmes de culture accroissement et diversité notables en semis direct. *AGRONOMIE, ÉCOLOGIE ET INNOVATION*. TCS N°81. JANVIER/FÉVRIER 2015. . p30-33.

[27] **Mouelhi B.(2004).** Simplification du travail du sol dans un système de rotation de culture de blé dur (*Triticum durum* Desf.) variété « Karim » et Sulla du Nord « *Hedysaru Coronaruim* L. » Bikra 21. Projet de fin d'étude. Institut national agronomique de Tunis. P 20 -40.

[28] **Nedjem k., 2012.** Contribution a l'étude des effets du semis direct sur l'efficacité d'utilisation de l'eau et

le comportement variétal de la culture de blé en région semi-aride. Mémoire de Master. Département des Sciences Agronomiques. Université Ferhat Abbas Sétif. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. P 49-94.

[29] **Ouanzar S., 2012.** Etude comparative de l'effet du semis direct et du labour conventionnel sur le comportement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) Mémoire de Master. Département des Sciences Agronomiques. Université Ferhat Abbas Sétif. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. P 30-58.

[30] **Pauwels J. M., Van Ranst E., Verloo M. and Mvondoze A. 1992.** Manuel de laboratoire de pédologie. Ed. AGCD. 265 p.

[31] **Plassard C., Robin A., Le Cadre E., Marsden C., Trap J., Herrmann L., Waithaisong K., Lesueur D., Blanchart E., Chapuis-Lardy L., Hinsinger P., 2015.** Améliorer la biodisponibilité du phosphore : comment valoriser les compétences des plantes et les mécanismes biologiques du sol ? *Innovations Agronomiques* 43 (2015), 115-138

[32] **Sally D. Logsdon, Douglas L. Karlen., 2004.** Bulk density as a soil quality indicator during conversion to no-tillage. *Soil and Tillage Research*. 2, 78: 143-149.

[33] **Sakouhi R., 2012.** Dynamique de l'Azote dans le système de semis direct et conséquence sur la fertilisation du blé dur en agriculture de conservation basée sur le semis direct. Master. Institut national agronomique de Tunis. P 49-65.

[34] **Sanaa M. 1993.** Dynamique et bilan de l'azote minéral dans quelques sols calcaires en Tunisie. Thèse de Doctorat. Université de Gent, Belgique 175p.

[35] **Slim S., 2012.** Les systèmes fourragers des zones montagneuses: contraintes et intérêts des fabacées dans la fixation des sols et l'accroissement des ressources herbagères des petites exploitations. thèse de doctorat en sciences agronomiques. Institut national agronomique de Tunis. P99.

[36] **Strudley M. W., Green T. R. et Ascough J. C. 2008.** Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time : State of the science. *Soil and Tillage Research*, 99(1): 4-48.

[37] **Thomas G. A., Dalal R. C. , Standley J., 2007.** No-till effects on organic matter, ph, cation exchange capacity and nutrient distribution in a Luvisol in the semi-arid subtropics. *Soil and tillage research*, 94, 295-304.

[38] **Viaux Ph., Parat J. & Blal B. 2002.** Les endomycorhizes, indicateurs de la qualité des sols? *Perspectives Agricoles*, 277: 50-54.

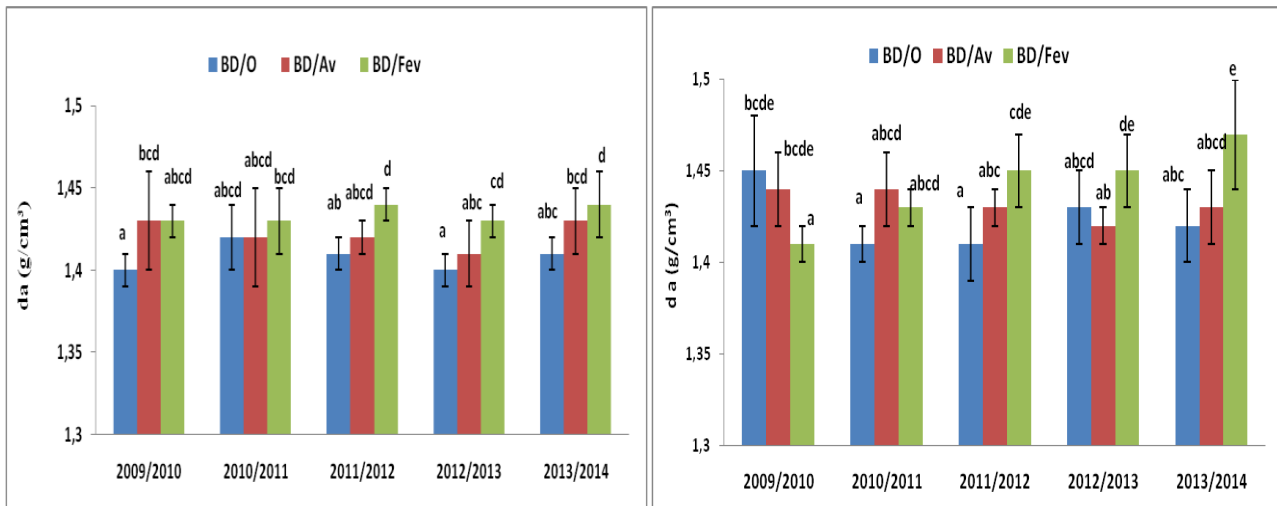


Figure 1: Evolution de la densité apparente du sol en fonction de précédents culturaux (orge, avoine et féverole) sous deux modes de semis (a : semis conventionnel et b : semis direct) pendant 5 campagnes agricoles.

Les histogrammes surmontés de lettres différentes sont statistiquement différentes ($p < 0,05$).

BD/O : blé dur à précédent orge ; BD/Av : Blé dur à précédent avoine ; BD/Fev blé dur à précédent féverole

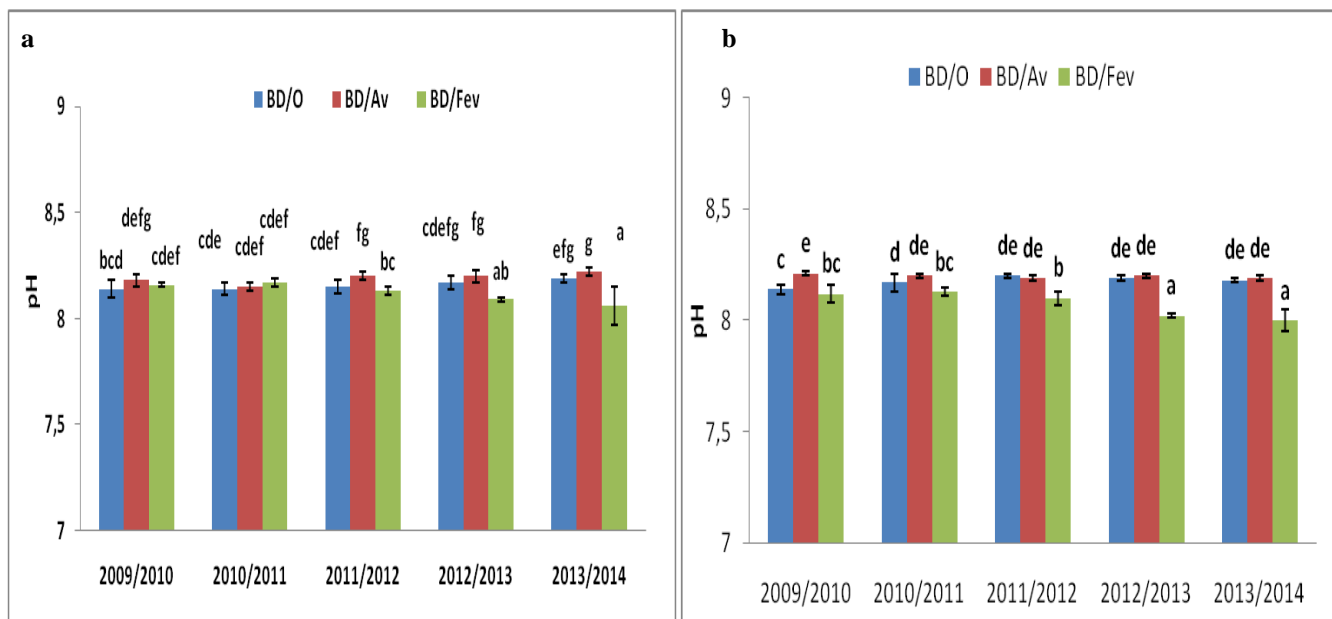


Figure 2 : Evolution de pH du sol en fonction de précédents culturaux (orge, avoine et féverole) sous deux modes de semis (a : semis conventionnel et b : semis direct) pendant 5 campagnes agricoles.

Les histogrammes surmontés de lettres différentes sont statistiquement différentes ($p < 0,05$).

BD/O : blé dur à précédent orge ; BD/Av : Blé dur à précédent avoine ; BD/Fev blé dur à précédent féverole

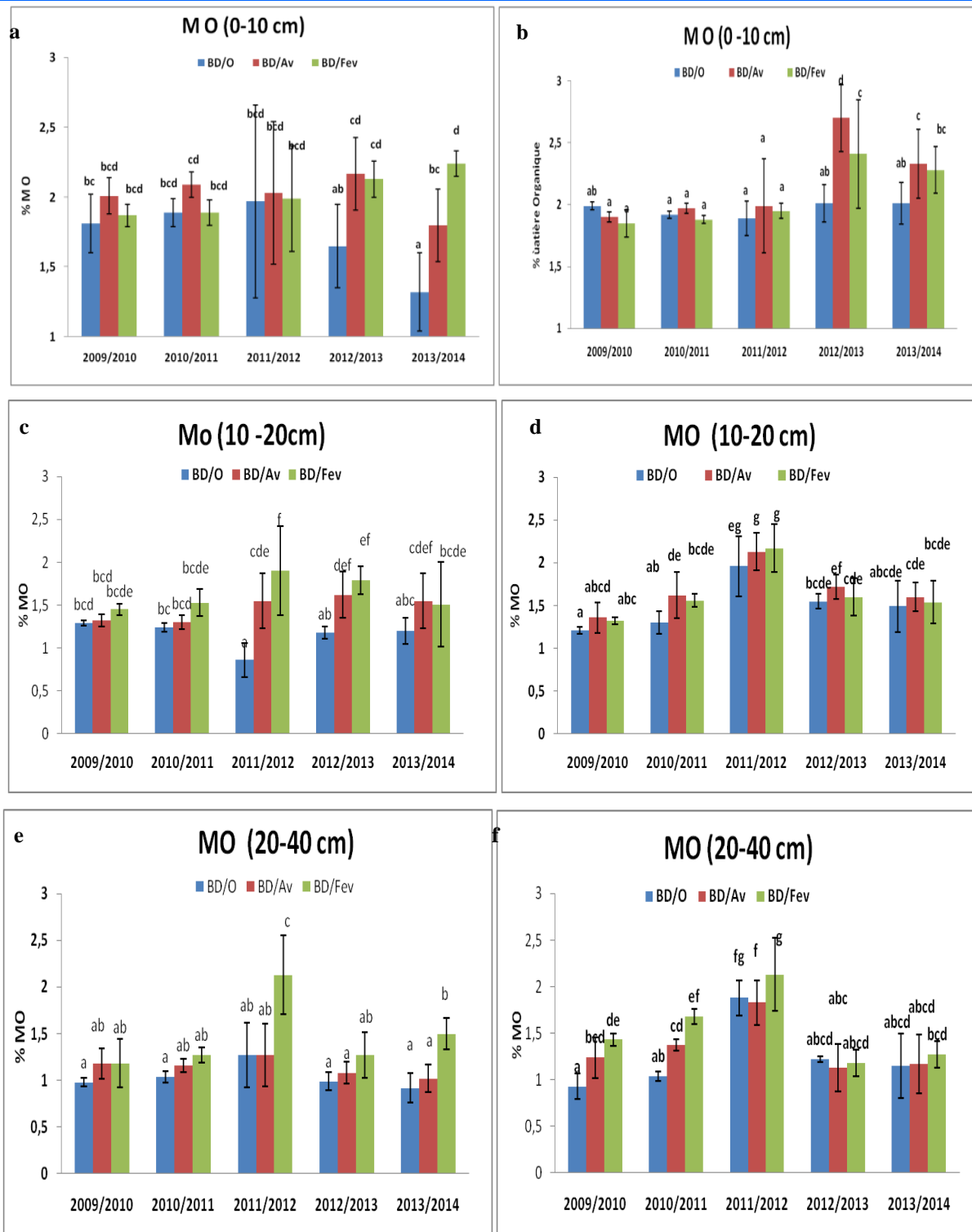


Figure 3 : Evolution de la matière organique du sol sur 3 niveaux de profondeurs en fonction de précédent culturaux (orge, avoine et féverole) sous deux modes de semis (a : semis conventionnel et b : semis direct) pendant 5 campagnes agricoles.

Les histogrammes surmontés de lettres différentes sont statistiquement différents ($p < 0,05$).

BD/O : blé dur à précédent orge ; BD/Av : Blé dur à précédent avoine ; BD/Fev blé dur à précédent féverole

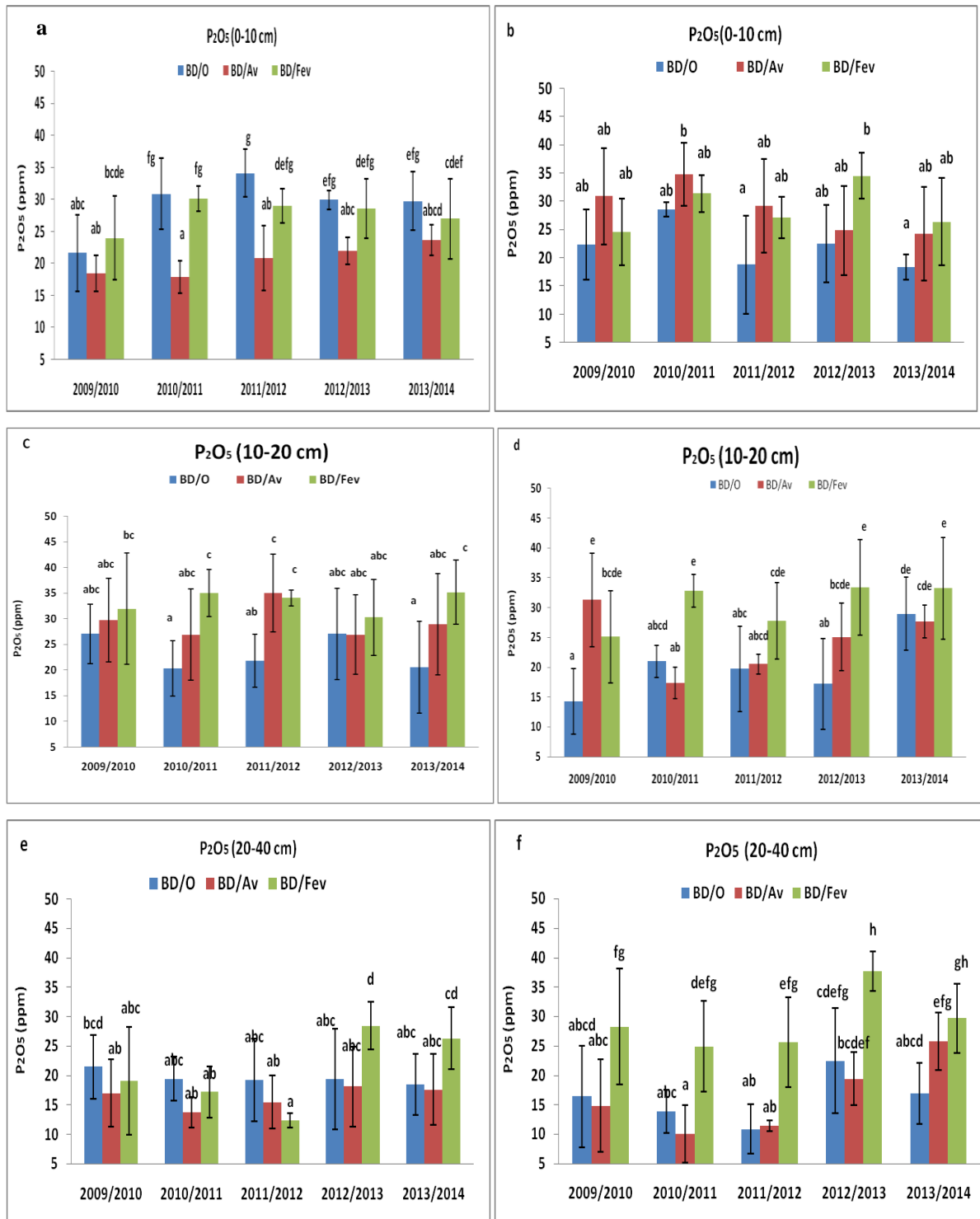


Figure 4: Evolution de la phosphate assimilable du sol sur 3 niveaux de profondeurs en fonction de précédent culturaux (orge, avoine et féverole) sous deux modes de semis (a : semis conventionnel et b : semis direct) pendant 5 campagnes agricoles.

Les histogrammes surmontés de lettres différentes sont statistiquement différentes ($p < 0,05$).

BD/O : blé dur à précédent orge ; BD/Av : Blé dur à précédent avoine ; BD/Fev blé dur à précédent féverole

Tableau 1 : Taux de colonisation totale (TCT) des racines de blé dur en deux modes de semis (semis direct et semis conventionnels) et avec trois précédents culturaux (Orge, avoine et féverole).

Mode de Semis	Semis Conventionnel		Semis Direct	
	2012/2013	2013/2014	2012/2013	2013/2014
Campagnes Agricoles				
BD/O	6,67 ± 4 a	8,34 ± 3 ab	5 ± 4 a'	5 ± 4 a'
BD/Av	24,45 ± 17 bc	32 ± 20 c	5,01 ± 3 a'	5,56 ± 3 a'
BD/Fev	5,01 ± 2 a	5,56 ± 3 a	21,03 ± 7 b'	25,59 ± 12 b'

Les différentes lettres sont statistiquement différentes ($p < 0,05$).

BD/O : blé dur à précédent orge ; BD/Av : Blé dur à précédent avoine ; BD/Fev blé dur à précédent féverole

Tableau 2 : Taux de colonisation d'arbuscules (TCA) des racines de blé dur en deux modes de semis (semis direct et semis conventionnels) et avec trois précédents culturaux (Orge, avoine et féverole).

Mode de semis	Semis conventionnel		Semis direct	
	2012/2013	2013/2014	2012/2013	2013/2014
Campagnes agricoles				
BD/O	6.11 ± 4.93 a	3.89 ± 3.79 a	1.11 ± 2.23 a'	2.22 ± 1.82 a'
BD/AV	23.34 ± 16.88 b	27.48 ± 13.65 b	3.33 ± 3 a'	5,56 ± 2.86 a'
BD/FEV	4.45 ± 3.14 a	4.45 ± 2.57 a	22.22 ± 5.44 b'	26.17 ± 7.53b'

Les différentes lettres sont statistiquement différentes ($p < 0,05$).

BD/O : blé dur à précédent orge ; BD/Av : Blé dur à précédent avoine ; BD/Fev blé dur à précédent féverole

Tableau 3 : Taux de colonisation de vésicules (TCV) des racines de blé dur en deux modes de semis (semis direct et semis conventionnels) et avec trois précédents culturaux (Orge, avoine et féverole).

Mode de semis	Semis conventionnel		Semis direct	
	2012/2013	2013/2014	2012/2013	2013/2014
Campagnes agricoles				
BD/O	2.78 ± 2.13 a	3.89 ± 3.89 a	2.22 ± 2.87 a'	5 ± 4.21 a'
BD/AV	10 ± 6.42 b	15.56 ± 5.75 b	3.89 ± 2.13 a'	2.22 ± 1.81 a'
BD/FEV	2.5 ± 1.9 a	1.67 ± 2.13 a	13.28 ± 3.15 b'	11.67 4.93b'

Les différentes lettres sont statistiquement différentes ($p < 0,05$).

BD/O : blé dur à précédent orge ; BD/Av : Blé dur à précédent avoine ; BD/Fev blé dur à précédent féverole