

République Algérienne Démocratique Et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud MAMMERY Tizi-Ouzou

Faculté des sciences Biologiques et des sciences Agronomiques

Département des sciences agronomiques



Mémoire

En vue de l'obtention du master

Spécialité : réhabilitation et restauration des sols

Thème :

Effet de l'apport d'effluents d'huilerie d'olives sur le phosphore de la rhizosphère du *Triticum secale* /*Pisum sativum*

Réalisé par :

KHELOUT Imene

Devant le jury composé de :

Présidente :	M ^{elle} OUMOURI O.	M.A.B à l'U.M.M.T.O.
Promotrice :	M ^{me} BOURBIA S.	M..C.B. à. l'U.M.M.T.O.
Co promotrice :	M ^{me} TABBAKH H.	Cadre d'étude BNEDER
Examinatrice:	M ^{me} TAIBI H.	M.A.A. à l'U.M.M.T.O.

Année universitaire : 2016-2017

Dédicaces

A mes très chers parents

*Aucune dédicace aussi parfaite et douce soit-elle, ne saurait exprimer toute ma
Reconnaissance et tout l'amour que je vous porte.*

*Ce travail représente le fruit de votre soutien, vos sacrifices, et vos
encouragements.*

*Jamais il n'aurait vu le jour sans les conseils que vous avez consentis pour mon
éducation.*

*Que Dieu vous protège et vous accorde une longue vie pleine de santé et de
bonheur.*

A ma très chère sœur (KAHINA) et mon cher frère (JUGURTHA).

A mon Beau-frère (AZIZ) et ma belle sœur (KAHINA)

A mes neveux :

Samy et Khalil

A mes nièces :

Cérine et Lilia

A ma tante Hend que je remercie énormément

A mes deux chères amies :

*Kahina Bournine et Sonia Matmar pour leur soutien et leur encouragement
tout au long de la réalisation de ce travail.*

A mes chers(es) amis(e) : Soraya- Sabrina – Hocine- Smail – Nassim....

Remerciements

Je tiens ici à remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de mon mémoire de fin d'étude .La liste des remerciements qui va suivre se veut la plus exhaustive possible mais il n'y aura jamais suffisamment de place pour remercier tout le monde dans le détail, je m'excuse alors d'avance auprès de tous celles ou ceux que j'aurais omis et à qui j'exprime toute ma gratitude.

Le travail présenté dans ce mémoire a été réalisé au sein du laboratoire d'analyses des sols et eaux du Bureau National d'Etudes pour le Développement Rural.(BN'EDER).

En premier lieu, je remercie Allah le Tout Puissant de m'avoir donné la volonté, la santé et le courage pour réaliser ce travail.

Mes plus profonds remerciements et toute ma reconnaissance vont à mon encadrante Mme. Bourbia Sophia d'avoir assurée l'encadrement de ce travail et qui m'a fait confiance. Sa disponibilité, son expérience, son savoir scientifique et ses qualités professionnelles ont été déterminants dans l'aboutissement de ce travail.

Un grand merci à ma Co- promotrice Mme Tabakhi Hassina qui a contribué à la réalisation de mes analyses au sein du laboratoire (BN'EDER), pour sa disponibilité, sa bonne humeur et son génie bricoleur sans qui j'aurai eu beaucoup de mal à réaliser un certain nombre d'analyse.

Remerciements

Je remercie vivement Mademoiselle OUMOURI O Maitre assistante et Chargée de cours à l'UMMTO, qui nous fait le grand honneur de présider le jury de ce mémoire. Veuillez trouver ici nos plus profonds respects.

Un grand merci à Mme TAIBI H. Maitre Assistante et chargée de cours, pour avoir acceptée d'examiner notre travail. Veuillez trouver ici nos plus profonds respects.

Je tiens à remercier Mr le DG du BNEDER de m'avoir fait confiance et ouvert la porte en m'attribuant l'avis favorable de réaliser mes analyses au sein du labo des sols.

Merci encore à la Chef de département du laboratoire d'analyse des sols et eaux du BNEDER de m'avoir accueilli dans son laboratoire de me donner la possibilité de découvrir et de travailler avec des appareils modernes, pour son aide indispensable, pour sa gentillesse et sa disponibilité, qu'elle trouve le témoignage de ma profonde gratitude.

Je souhaite encore remercier Mr Radouane ingénieur du laboratoire des sols de l'ENSA je lui exprime tout ma reconnaissance.

Liste des abréviations

A : Argile

AM : Avec irrigation de margine

ANOVA : Analyse de variance

LF : Limon fin

LG : Limon grossier

-M : Sans apport de margine

+M : Avec apport de margine

N : Azote

P : Phosphore

Pt: Phosphore total

Po: Phosphore Olsen

Pt – Po: Phosphore total – phosphore Olsen

SF: Sable fin

SG : Sol global

SR : Sol rhizosphérique

SM : sans apport de margine

SG-A : Sol global de l'association

SR-P : sol rhizosphérique du pois fourrager

SR-T : sol rhizosphérique du triticales

Figure 1 : cycle du phosphore dans les sols.....	4
Figure 2 : association céréale – légumineuse.....	9
Figure 3 : facilitation pour le phosphore entre deux espèces.....	14
Figure 4 : les composantes de la fraction soluble des margines.....	17
Figure 5 : colorimètre pour le dosage du phosphore assimilable.....	20
Figure 6 : la gamme étalon.....	20
Figure 7 : la courbe étalon.....	21
Figure 8 : préparation des réactifs chimiques (l'acide perchlorique et l'acide nitrique).....	22
Figure 9 : chauffage sur bain de sable.....	22
Figure 10 : auto analyseur pour le dosage du phosphore total.....	23
Figure 11 : profil du sol ouvert au niveau de l'ITMAS de BOUKHALFA.....	24
Figure 12 : pH du sol global (SG) sans margine (-M) et avec margine (+M) des cultures monospécifiques. (a) le pois fourrager et (b) le triticale.....	25
Figure 13 : pH du sol global (SG) et rhizosphérique (SR) sans margine (-M) et avec margine(+M) des cultures monospécifiques du pois fourrager et le triticale.....	27
Figure 14 : pH du sol global en association (SG-A) et rhizosphérique du pois fourrager (SR-P) et du triticale (SR-T) sans margine (-M) et avec margine (+M) de la culture associée triticale/pois fourrager.....	27
Figure 15 : teneur en P Olsen (mg Kg^{-1}) du sol global (SG), sans margine (-M) et avec margine (+M) des cultures monospécifiques (a) pois fourrager et(b) triticale.....	29
Figure 16 : teneur en P Olsen (mg Kg^{-1}) du sol global (SG), sans margine (-M) et avec margine (+M) des cultures associées triticale/pois fourrager.....	29
Figure 17 : effet de l'activité racinaire sur la teneur en P Olsen (mg Kg^{-1}), du sol rhizosphérique des monocultures (pois fourrager et triticale), en absence de margine (-M) et en présence de margine (+M).....	30
Figure 18 : effet de l'activité racinaire sur la teneur en P Olsen (mg Kg^{-1}), du sol global et du sol rhizosphérique de la culture associée (triticale/pois fourrager), en absence de margine (-M) et en présence de margine (+M).....	31

Figure 19: teneur en P Olsen (mg. Kg^{-1}) du sol rhizosphérique des monocultures (pois fourrager et triticale) et de l'association (triticale/pois fourrager), en absence de margine (SM) et en présence de margine (AM).....	32
Figure 20 : effet de l'interaction sur le P Olsen (mg. Kg^{-1}) du sol global (SG) et rhizosphérique (SR) des monocultures et de l'association triticale/pois fourrager sans margine (SM) et avec margine (AM). Le trait en pointillé représente la teneur moyenne en P Olsen ($P_o=8,91\text{ppm}$) du sol global des cultures monospécifiques et de la culture associée sans margine.....	33
Figure 21 : teneur en P total (mg.Kg^{-1}) du sol global (SG), sans margine (-M) et avec margine (+M) des cultures monospécifiques (a) pois fourrager et (b) triticale.....	34
Figure 22 : teneur en P total (mg.Kg^{-1}) du sol global (SG), sans margine (-M) et avec margine (+M) des cultures associées (triticale/pois fourrager).....	35
Figure 23: teneur en P total (mg Kg^{-1}) du sol global (SG) et du sol rhizosphérique (SR), des monocultures pois fourrager et triticale, en absence de margine (-M) et en présence de margine (+M).....	36
Figure 24 : teneur en P. total (mg Kg^{-1}) du sol global (SG) et en fonction de l'activité racinaire de l'association (triticale/pois fourrager), en absence de margine (-M) et en présence de margine (+M).....	37
Figure 25 : teneur en P total (mg. Kg^{-1}) du sol rhizosphérique des monocultures (pois fourrager et triticale) et de l'association (triticale/pois fourrager), en absence de margine (SM) et en présence de margine (AM).....	38
Figure 26: effet de l'interaction association des cultures et irrigation avec margine, sur le P total (mg. Kg^{-1}) du sol global (SG) et rhizosphérique (SR) des monocultures et de l'association triticale/pois sans margine (SM) et avec margines (AM). Le trait en pointillé correspond a la teneur moyenne en P total ($P_t=52\text{ppm}$) du sol global des cultures monospécifiques et de l'association triticale/pois fourrager en absence de margine.....	39
Figure 27 : teneur en P total – P Olsen (mg.Kg^{-1}) du sol global (SG), sans margine (-M) et avec margine (+M) des cultures monospécifiques (a) pois fourrager et (b) triticale.....	41
Figure 28 : teneur en P total – P Olsen (mg.Kg^{-1}) du sol global (SG), sans margine (-M) et avec margine (+M) de la culture associée (triticale/pois fourrager).....	41
Figure 29 : teneur en P total – P Olsen (mg Kg^{-1}) du sol global et du sol rhizosphérique des monocultures (pois et triticale), en absence de margine (-M) et en présence de margine (+M).....	42
Figure 30: teneur en P total – P Olsen (mg Kg^{-1}) du sol rhizosphérique de l'association (triticale/ pois fourrager), en absence de margine (-M) et en présence de margine (+M).....	43

Figure 31 : teneur en P total – P Olsen (mg. Kg^{-1}) du sol rhizosphérique des monocultures (pois fourrager et triticale) et de l'association (triticale/pois fourrager), en absence de margine (SM) et en présence de margine (AM).....44

Figure 32 : effet de l'interaction de l'association, des cultures et irrigation avec margine, sur le P total – P Olsen (mg. Kg^{-1}) du sol global (SG) et rhizosphérique (SR) des monocultures et de l'association triticale/pois sans margine (SM) et avec margine (AM). Le trait en pointillé correspond a la teneur moyenne en P total – P Olsen ($\text{Pt-Po}=46,91\text{ppm}$) du sol global des cultures monospécifiques et de l'association triticale/pois fourrager en absence de margine.....45

Tableau 1 : composition des margines.....	16
Tableau 2 : constituants minéraux des margines.....	17
Tableau 3 : résultats des analyses du profil du sol.....	25
Tableau 4 : teneurs en P Olsen (mg.Kg^{-1}), dans le sol global et le sol rhizosphérique du pois fourrager et du triticale, dans le cas des différents traitements : cultures monospécifique et association avec apport de margine (+M) et sans apport de margine (-M).....	28
Tableau 5 : teneurs en phosphore total (mg. Kg^{-1}), dans le sol global (SG) et le sol rhizosphérique (SR) chez le pois fourrager et le triticale, dans le cas des différents traitements : des cultures monospécifiques et association avec apport de margine (+M) et sans apport de margine (-M).....	33
Tableau 6 : teneurs en phosphore total – le phosphore Olsen dans le sol global (G) et le sol rhizosphérique (SR) chez le pois fourrager et le triticale, dans le cas des différents traitements : monoculture et association avec apport de margine (+M) et sans apport de margine (-M). ...	40
Tableau 7 : gain en P Olsen dans la rhizosphère des cultures avec margine (+M) et sans margine (-M).....	45

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale..... 1

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I. Le phosphore..... 3

I.1 Qu'est ce qui fait le phosphore si spécial ?..... 3

I.2 Cycle du phosphore..... 4

I.3 Le phosphore du sol..... 5

I.4 Formes du phosphore dans le sol..... 5

I.4.1 Le phosphore total..... 5

I.4.2 Le phosphore inorganique (minéral)..... 5

I.4.3 Le phosphore organique..... 6

I.4.4 Le phosphore assimilable..... 6

I.5 Le phosphore dans la plante..... 6

I.6 Le phosphore et la nutrition des plantes..... 7

I.7 Quel est l'effet du phosphore sur les rendements ?..... 7

I.7.1 Dans les sols carencés ou très pauvres en phosphore..... 7

I.7.2 Dans les sols bien pourvus en phosphore..... 8

I.7.3 Dans les sols riches en phosphore..... 8

II. Les cultures associées 8

II.1 Introduction..... 8

II.2 L'association légumineuse-céréale..... 8

II.3 Avantages des cultures associées..... 10

II.3.1 Avantages économiques..... 10

II.3.2 Avantages agronomiques..... 10

II.3.3 Avantage environnementaux..... 10

II.4 Association triticale/pois fourrager.....	10
II.4.1 Le pois fourrager.....	10
II.4.2 Le triticale.....	11
II.5 La rhizosphère.....	11
II.5.1 Les racines	11
II.5.2 La rhizosphère.....	11
II.5.2.1 Le concept de la rhizosphère.....	11
II.6 Modification de la disponibilité dans la rhizosphère.....	12
II.7 Le phosphore dans la rhizosphère.....	12
II.8 Acidification de la rhizosphère sous déficience en Phosphore.....	13
II.9 Facilitation pour le phosphore.....	14
II.10 Interactions entre plantes pour une ressource : interaction racinaires pour l'acquisition d'un nutriment.....	15
III. Les margines.....	15
III.1 Introduction.....	15
III.2 Les margines.....	16
III.3 Composition des margines.....	16
III.3.1 Fraction minérale	
III.4.2 Fraction organique.....	17
III.5 Valorisation des margines.....	18
Chapitre 2 : Matériels et méthodes	
I.1 Le phosphore assimilable. Méthode Olsen.....	19
I.2 Le phosphore total.....	21
I.3 Analyse statistique.....	23
Chapitres 3 : Résultats et discussion	
I. Description du profil pédologique.....	24
I.1 Caractéristiques physico-chimiques du sol.....	25

II. Variation des paramètres chimiques des sols.....	25
II.1 pH.....	25
II.1.1 Effet de l'irrigation par les margines.....	25
• Sue les monocultures.....	25
• Sur l'association triticales/pois fourrager.....	26
II.1.2 Effet de l'activité de la racine sur le pH.....	26
• Sur les monocultures.....	26
• Sur l'association triticales /pois fourrager.....	26
II.1.3 Effet de l'association des cultures sur le pH.....	28
II.2 Le phosphore assimilable.....	28
II.2.1 Effet de l'irrigation par les margines.....	28
• Sur les monocultures.....	28
• Sur l'association triticales/pois fourrager.....	29
II.2.2 Effet de l'activité de la racine sur la teneur en P Olsen.....	30
• Sur les monocultures.....	30
• Sur l'association.....	31
II.2.3 Effet de l'association des cultures sur le P Olsen.....	31
II.2.4 Effet interaction.....	32
II.3 Le phosphore total.....	33
II.3.1 Effet de l'irrigation par les margines.....	34
• Sur les monocultures.....	34
• Sur l'association triticales/ pois fourrager.....	34
II.3.2 Effet de l'activité de la racine sur la teneur en P total.....	35
• Sur les monocultures.....	35
• Sur l'association triticales/ pois fourrager.....	36
II.3.3 Effet de l'association des cultures sur le P total.....	37
II.3.4 Effet interaction.....	38
II.4 Le phosphore total - le phosphore assimilable.....	39
II.4.1 Effet de l'irrigation par les margines.....	40

• Sur les monocultures.....	40
• Sur l'association triticales /pois fourrager.....	41
II.4.2 Effet de l'activité de la racine sur les teneurs en phosphore total – le phosphore assimilable	42
• Sur les monocultures.....	42
• Sur l'association triticales/ pois fourrager.....	43
II.4.3 Effet de l'association des cultures sur le phosphore total – le phosphore assimilable...	44
II.4.4 Effet interaction.....	44
II.5 Gain en P Olsen dans la rhizosphère des cultures.....	45
II.6 Discussion.....	46
Conclusion générale.....	48
Annexes	
Références bibliographique	

Introduction

Le phosphore P est un élément nutritif essentiel pour l'amélioration de la production agricole (Vance, 2001). Il reste cependant une ressource non renouvelable dans la lithosphère (0.1%), et sa teneur varie selon le type de sol et le système de production agricole (Thomson, 1973). Il est ainsi estimé que 30 à 40% des sols cultivés présenteraient des valeurs de disponibilité (la quantité d'une ressource potentiellement accessible aux plantes) en phosphore ne permettant pas d'assurer une production optimale (Vance, 2001). La principale pratique agricole employée pour maintenir la production est l'apport de fertilisants phosphatés issus majoritairement de roches phosphatées (Betencourt, 2012). L'apport du P par les fertilisants minéraux est souvent pratiqué afin de restaurer la fertilité des sols déficients en P (Latati, 2015).

Alors qu'il apparaît nécessaire de maintenir une production agricole suffisante pour répondre aux besoins futurs, il est maintenant admis que le modèle proposé jusqu'à présent reposant sur l'utilisation massive de fertilisants menace l'équilibre du cycle des nutriments et n'est pas une stratégie durable. Cette situation a fait émerger un nouveau paradigme correspondant à l'intensification de la production agricole tout en diminuant l'apport de fertilisants, ou intensification écologique (Cassman, K.G. 1999.). Autrement dit de nouvelles solutions sont nécessaires pour améliorer l'exploitation des ressources en phosphore du sol par les cultures, ce qui nécessite l'augmentation des capacités d'acquisition de la ressource ainsi que de son utilisation pour la production de biomasse (Richardson et al., 2011). Une des solutions proposée est l'introduction d'une diversité spécifique au sein des agro écosystèmes par le développement des cultures associées. Il est supposé que l'association d'espèces puisse permettre une amélioration de l'acquisition d'une ressource (eau, lumière, nutriment) par deux mécanismes généraux : la différenciation de l'acquisition de la ressource et l'augmentation de sa disponibilité suite à la modification de l'environnement par les espèces associées. Le potentiel bénéfique de l'association d'espèces par rapport aux cultures monospécifiques serait d'autant plus intéressant dans le cas où la disponibilité d'une ressource est faible, ce qui ferait des cultures associées des systèmes performants à bas niveau d'intrants (Betencourt, 2012).

L'association céréale-légumineuse est le modèle dominant en raison de ses capacités d'amélioration de l'acquisition de N, mais la mise en évidence d'un effet similaire pour le P a ouvert un nouveau champ de recherches. Il est maintenant admis que les plantes ont la capacité de modifier la disponibilité des nutriments dans le volume de sol entourant leurs racines (la rhizosphère) non pas uniquement par leur prélèvement mais aussi par d'autres

processus induits par les racines. La quantité de nutriments prélevée est ainsi déterminée par la disponibilité de la ressource et par la capacité d'acquisition de la plante (Betencourt, 2012).

Dans ce contexte, l'objectif général de notre travail est d'évaluer l'impact de l'amendement en margines sur la disponibilité du phosphore les interactions entre espèces dans le cas l'association Triticale -Pois fourrager, et pour le phosphore dans la rhizosphère .

Pour ce faire nous avons testé les hypothèses suivantes :

- 1) l'irrigation avec les margines augmentent le phosphore, du sol global et du sol rhizosphérique des cultures.
- 2) le sol rhizosphérique s'enrichie en phosphore
- 3) l'association de cultures triticale/ pois fourrager améliore la teneur en phosphore de la rhizosphère

Les travaux de ce mémoire s'organisent autour de 3 chapitres :

- Le chapitre 1 : est consacré à une synthèse bibliographique qui positionne la thèse dans son contexte globale ;
- Le chapitre 2 : présente le matériels et les méthodes utilisées;
- Le Chapitre 3 : est une interprétation et une discussion des résultats.

I. Le phosphore

I.1 Qu'est-ce qui fait le phosphore si spécial ?

Contrairement à N, P est raisonnablement abondant dans la Croûte terrestre (1.2 g kg⁻¹ en moyenne) (Tang ,2013). Les engrais phosphatés sont produits à partir de divers gisements de minéraux phosphatés dont notamment des dépôts d'origine sédimentaire marin (80%), des roches magmatiques (17%), ainsi que des dépôts sédimentaires résiduels et de guano (Alkama, 2010). Les réserves de phosphore naturel algériennes sont considérables. Elles sont estimées à 2 milliards de tonnes. Et sont principalement situées à Djebel Onk, dans la région de Tébessa (Belaid, 2016).

L'utilisation mondiale des engrais phosphatés est passée de 900 millions de tonnes en 1913 jusqu'à 17000 millions de tonnes dans les années 1980. Ainsi, certains experts pensent que les ressources risquent de s'épuiser d'ici 60 à 80 années (Alkama, 2010). Ce problème est accentué par divers phénomènes:

- La formation du sol, total, qui entame une diminution du contenu de P au fil du temps, et avec un développement de P organique au détriment de P inorganique, comme indiqué dans le cas de chronosequences des sols. Au début de développement (dans de jeunes sols), les écosystèmes terrestres sont principalement limité par l'N, tandis qu'à un stade ultérieur de développement (dans de plus vieux sols), ils deviennent limité en P (Tang, 2013).
- Le réservoir d'azote atmosphérique utilisé pour fabriquer des engrais N est beaucoup plus grand que nécessaire, la situation pour P est plutôt différente. Les réserves mondiales de minerais de phosphate sont en effet finies et le temps exact où leur consommation atteindra un niveau maximal est un objet de débat. On attend certainement à ce que des minerais de phosphate de haute qualité soient épuisés dans les décennies à venir, ce qui le met en question la durabilité de l'utilisation des engrais phosphatés actuelle dans les pays développés et les pays émergents (Tang, 2013).
- Le P à une particularité, c'est de n'être utilisé qu'à 20%, au maximum, par les plantes. Le reste est bloqué dans le sol. Ce blocage des engrais P dans le sol est particulièrement important en sols calcaires. Il concerne donc l'Algérie où la majorité des sols agricoles sont calcaires (Belaid,2016).

- l'augmentation de la population mondiale qui devrait atteindre 6 milliards d'habitants d'ici 2020, fait que la limite des terres agricoles est susceptible de se déplacer vers des terres marginales, avec des conditions environnementales difficiles, qui comprennent des sols fragiles ayant une capacité de production inférieure et un plus gros risque de dégradation. Pour ces raisons la, il est indispensable de repenser l'agriculture en terme de durabilité (Alkama,2010).

I.2 Cycle du phosphore

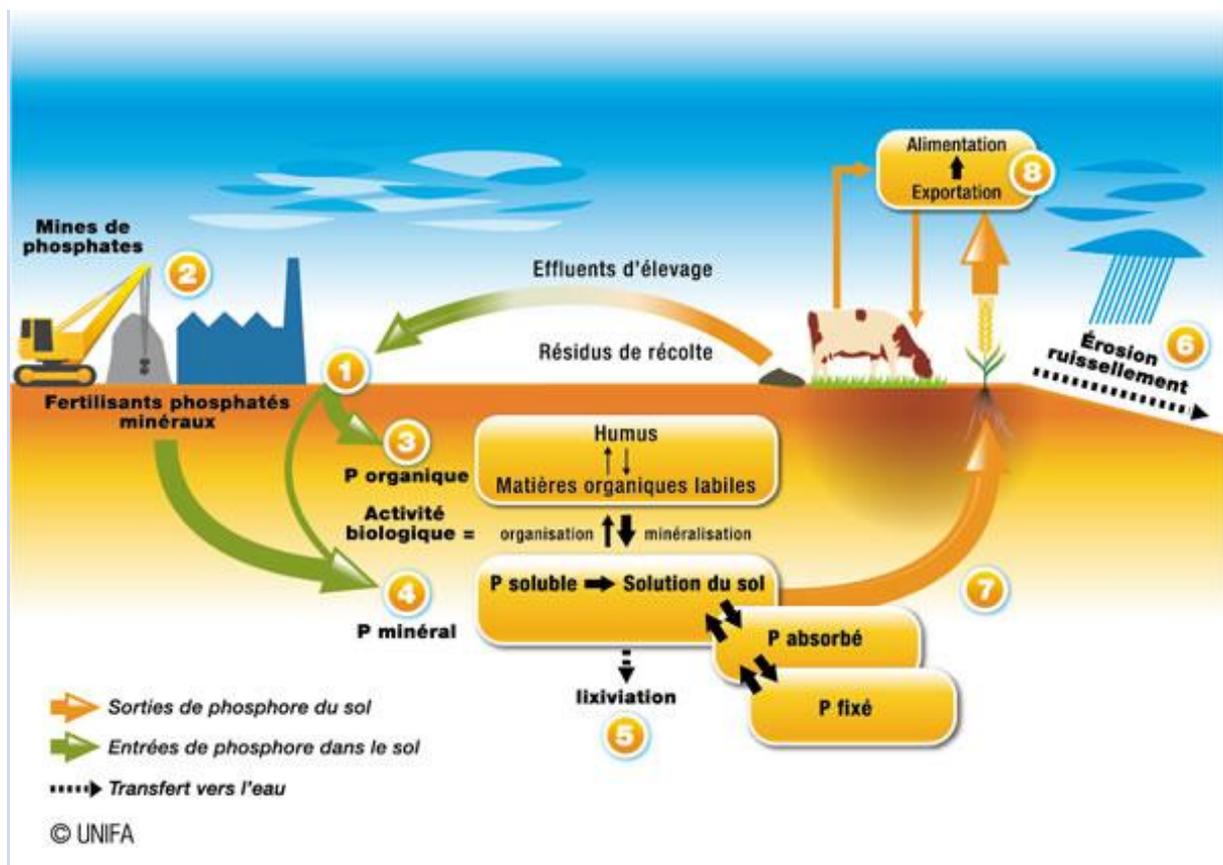


Figure 1 : cycle du phosphore dans les sols (Anonyme 1)

I.3 Le phosphore du sol

À l'état naturel, les sols contiennent de une à trois tonnes de phosphore (P) total dans les premiers 20 centimètres. Cette quantité dépasse grandement les besoins annuels des plantes. Toutefois, seule une petite partie, appelée phosphore biodisponible, est utilisable pour la nutrition des végétaux. Le phosphore biodisponible est surtout présent sous forme d'ions orthophosphates en solution qui sont directement assimilables par les plantes. Cependant, la plus large part du phosphore éventuellement disponible pour les cultures est adsorbée sur les particules de sol et est graduellement libérée dans la solution du sol où elle sera prélevée par les racines. Les phosphates adsorbés sur les particules du sol sont généralement associés à des cations, à des oxydes ou à des hydroxydes de fer (Fe) et d'aluminium (Al). Leur disponibilité varie grandement. Certains se retrouvent rapidement en solution, d'autres migrent plus lentement de la phase solide (phosphates adsorbés) vers la solution, ou encore ne se solubilisent qu'avec l'activité d'organismes vivants (microbes ou champignons). Comme les plantes assimilent le phosphore majoritairement par la voie des racines sous forme d'ions orthophosphates en solution, la disponibilité du phosphore pour les cultures est définie comme la quantité totale de phosphore dans le sol susceptible de se retrouver dans la solution du sol sous forme d'ions orthophosphates pendant une période équivalente à la durée de croissance de la culture. Toutefois, étant donné la grande complexité du système sol-plante, la quantité de phosphore réellement disponible pour la végétation est encore difficile à évaluer (Beaudin et al.2008)

I.4 Formes du phosphore dans le sol

I.4.1 Le phosphore total

C'est l'ensemble de toutes les formes de phosphore présentes dans un échantillon de sol, qu'elles soient minérales ou organiques (Clement et Mathieu, 2013).

I.4.2 Le phosphore inorganique (minéral)

Le phosphore inorganique (Pi) représente d'habitude 35 % à 70 % de total P dans des sols (Shen et al., 2011). C'est le phosphore inclus dans les minéraux comme apatites et dans tous les composés d'oxyhydroxydes de fer et d'aluminium ainsi que les phosphates tricalciques associés à un calcaire actif, franchement insolubles dans les milieux calcaires (Clément et Mathieu,2013).

I.4.3 Le phosphore organique

Le phosphore organique (Po) représente généralement 30 % à 65 % de total P dans les sols (Harrison, 1987). Le phosphore est présent dans la matière organique fraîche et l'humus. Après intervention des micro-organismes et minéralisation de l'humus, ce phosphore est susceptible de devenir assimilable (Clément et Mathieu, 2013).

I.4.4 Le phosphore assimilable

La définition du phosphore assimilable ou biodisponible est relativement facile dans son concept, c'est l'ensemble du phosphore d'un système sol-solution qui peut rejoindre la solution sous forme d'ions phosphate pendant un temps compatible avec les possibilités de prélèvement du végétal en croissance. De différentes formes d'anions métabolisés par les végétaux se présentent sous formes PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- ; les uns dissous dans la solution du sol, d'autres plus ou moins fortement adsorbés sur les surfaces externes des minéraux argileux et sur les surfaces sortantes des oxyhydroxydes de fer et/ou d'aluminium, et susceptibles d'être rapidement mobilisables vers la solution (Clément et Mathieu, 2013).

I.5 Le phosphore dans la plante

Le phosphore (P) est un élément largement distribué dans la nature. Il est considéré, avec l'azote (N) et le potassium (K), comme un constituant fondamental de la vie des plantes et des animaux. Les concentrations des tissus végétaux en phosphore varient entre 0.1 et 0.5%, soit près du dixième des teneurs en azote et en potassium (1 à 6%). Le P s'accumule d'abord dans les jeunes tissus pour se concentrer ensuite dans les organes de reproduction et les graines (Alkama, 2010).

Pour la reproduction, le P est un constituant de l'ADN et de l'ARN et traduit les informations génétiques. En ce qui concerne le transfert de l'énergie, les ions phosphoriques, sont capables de recevoir l'énergie lumineuse captée par la chlorophylle et la transporter à travers la plante, pour la synthèse de l'ATP. Ainsi le couple ATP ADP permet de stocker et de fournir l'énergie nécessaire à toutes les réactions chimiques. De ce fait, le P est un élément fondamental, qui intervient dans la majorité des grands cycles biochimiques (Alkama, 2010). Le phosphore stimule la croissance des racines et améliore la fixation de l'azote des

légumineuses. Des plantes déficientes en phosphore montrent un retard de croissance. Cela se manifeste souvent par une couleur vert foncé (concentration plus élevée en chlorophylle) et une coloration rougeâtre (augmentation de la production d'anthocyanes). Il accroît également la résistance de la plante au froid et aux maladies (Alkama, 2010).

I.6 Le phosphore et la nutrition des plantes

Le phosphore est prélevé par les racines des plantes dans la solution du sol à l'état ionique dissous (HPO_4^- ou H_2PO_4^-). Bien que les sols contiennent des quantités importantes de P (de 300 à 9 000 Kg P par hectare dans l'horizon 0-0.25 m), la biodisponibilité de cet élément pour les organismes vivants, les plantes en particulier, est limitée du fait de ses fortes interactions physico-chimiques avec la phase solide du sol. D'un point de vue fonctionnel, le compartiment central est la solution de sol car c'est par son intermédiaire qu'ont lieu les échanges entre le sol et les organismes vivants. La quantité de P contenue dans la solution de sol est cependant faible : entre 0.05 et 2 mg L^{-1} de P, ce qui représente entre 0.04 et 1.6 Kg P par hectare pour une teneur en eau volumique de 0.33 m^3m^{-3} . La plus grande partie du P est liée à la phase solide, sous forme minérale ou organique (ions phosphates sorbes à la surface de constituants du sol ; P entrant dans la constitution de minéraux phosphatés tels que les phosphates de fer, d'aluminium ou le calcium et P entrant dans la constitution de molécules organiques tels que les inositols hexaphosphates). La biodisponibilité du P est de ce fait fortement contrôlée par les échanges de P intervenant entre ces compartiments et la solution du sol via des transformations de type physico-chimique (adsorption / désorption, précipitation / dissolution) ou biologique (organisation / minéralisation) (Pellerin et al ;2014).

I.7 Quel est l'effet du phosphore sur les rendements ?

I. 7.1 Dans les sols carencés ou très pauvres en phosphore

La croissance des cultures est ralentie, elle se traduit par la formation d'une faible masse végétale et conduit finalement à l'obtention de piètres récoltes, parfois même à un échec complet. Dans de telles conditions les apports croissants de phosphore par unité de surface donnent lieu à de spectaculaires augmentations de rendement (Anonyme 2).

Cette situation est de moins en moins fréquente dans les régions agricoles où la fertilisation phosphatée se situe à un bon niveau depuis deux à trois décennies (Anonyme 2).

I. 7. 2 Dans les sols bien pourvus en phosphore

Les fortes fumures phosphatées ne permettent pas de substantielles augmentations de rendement, les apports de phosphore ont essentiellement pour but d'entretenir le potentiel de production agricole. Il convient en effet d'appliquer des doses de phosphore par unité de surface qui maintiennent le niveau de richesse atteint ou l'améliorent en fonction de progrès obtenus dans d'autres techniques agricoles (sélection des plantes, irrigation, etc....) qui autorisent de nouvelles augmentations du rendement (Anonyme 2).

La fertilisation phosphatée peut ne pas sembler nécessaire. Il n'empêche que certaines phases du cycle végétatif, l'installation du système racinaire, la précocité de la récolte appellent l'emploi d'une fumure phosphatée, modeste mais dotée d'une excellente solubilité en vue de rapides utilisations par la culture (Anonyme 2).

II. Les cultures associées

II.1 Introduction

Un nombre croissant d'études tendent à montrer l'avantage des cultures associées Céréale-légumineuse pour l'acquisition de P en comparaison des cultures monospécifiques. Il a été proposé que le bénéfice de ces agroécosystèmes plurispécifiques résulte (i) de la diminution de la compétition par une différenciation de l'acquisition du phosphore, autrement désignée comme complémentarité de niche et/ou (ii) implique la mise en place de mécanismes de facilitation permettant l'augmentation de la disponibilité en P. Cette augmentation sous-entend une modification des propriétés physiques, chimiques et/ou biologiques de la rhizosphère des espèces en association, suite à leur activité racinaire (Betencourt, 2012).

II.2 L'association légumineuses-céréales

Dans l'agriculture conventionnelle et dans les systèmes de monoculture, bien que le rendement élevé par unité de surface puisse fournir les besoins alimentaires des populations croissantes dans quelques pays, ces systèmes exigent des coûts élevés de production et une consommation importante en combustibles fossiles. En termes d'écologie et d'environnement, les monocultures ont posé une série de problèmes sérieux qui ne peuvent être résolus que par une activité agricole basée sur des principes écologiques, afin d'aboutir à un écosystème stable (Latiti, 2015).

L'association des cultures représente une des stratégies pour la restauration de la diversité dans les agro écosystèmes. Elle consiste à cultiver simultanément plus d'une espèce sur le même terrain pendant une saison de culture. Ainsi, beaucoup de travaux de recherche ont montré que ce système de culture permet une exploitation plus efficace de l'ensemble des ressources et une production globale supérieure à celle obtenue grâce à la monoculture (Latati, 2015).

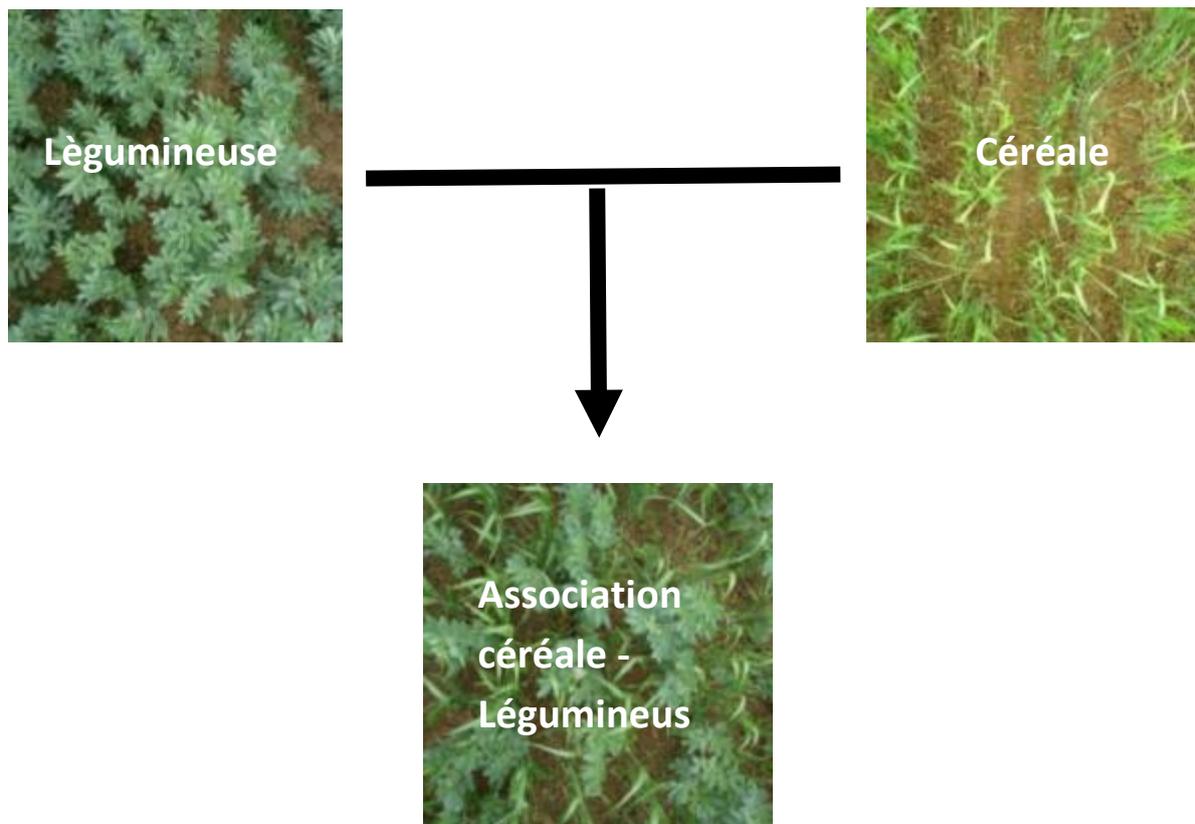


Figure 2 : association céréale - légumineuse

II.3 Avantages des cultures associées

Cultiver 2 plantes dans le même champ, en mélange ou en rangs alternés, présente de multiples avantages. Une technique dont on redécouvre l'intérêt avec le développement de l'agriculture biologique et de l'agroécologie, alors qu'elle avait presque totalement disparue dans l'agriculture moderne (Anonyme 2).

II.3.1 Avantage économiques :

- De meilleurs rendements (de 10 à 60% pour une association céréales/légumineuses),
- Des rendements plus stables avec sécurisation d'un rendement minimum,
- Une meilleure qualité de grains, de 1 à 1,6 points de protéines en blé dur et 0,7 en blé tendre,
- Une optimisation des ressources : la légumineuse puise l'azote de l'air et la restitue sous forme minérale à la céréale,
- Une utilisation moindre des pesticides : le sol est couvert plus vite et plus souvent, ce qui limite le développement des adventices,
- Des aliments riches en protéines et variés pour le troupeau (Anonyme 3).

II.3.2 Avantages agronomiques :

- Une amélioration de la structure du sol par des systèmes racinaire Complémentaire (Anonyme 3).

II.3.3 Avantage environnementaux :

Une favorisation des pollinisateurs grâce aux espèces mellifères (Anonyme 3)

II.4 Association triticale/pois fourrager

II.4.1 Le pois fourrager

Le pois fourrager, est une légumineuse qui appartient à la famille des *Fabacées*, le troisième plus grand groupe de plantes au monde. On considère qu'elles sont nées il y a quelque 90 millions d'années, et que leur processus de diversification a vu le jour à partir du début du Tertiaire. La famille des Fabacées comporte plus de 20 000 espèces et 700 genres, dont seuls certains sont classés comme plantes légumineuses, comme les groupes *Vicia*, *Cicer*, *Lens* et

Cajanus. L'Homme cultive les légumes secs depuis l'aube de l'agriculture, c'est l'une des premières plantes dans le monde à avoir été domestiquée (Anonyme 2)

P. arvense L. ou *P. sativum arvense* Pois., pois des champs ou pois fourrager, reconnaissable à ses fleurs colorées et petites, ses stipules à collerette rouge, ses feuilles à 2-4 folioles, ses graines petites à téguments colorés.

II. 4.2 Le triticale

Le triticale est la seule céréale créée par l'homme, il est issu d'un croisement du blé (*Triticum*) et du seigle (*Secale*). L'idée du croisement du blé et du seigle correspond au désir d'associer les qualités des deux céréales pour obtenir un blé possédant, en plus de ses qualités, celles du seigle (résistance aux aléas climatiques et culturales) (Amrani, 2004).

II.5 La rhizosphère

II.5.1 Les racines

Elles représentent la « face cachée » du système végétal.

Les fonctions classiques des racines sont:

- Absorption de l'eau ;
- Absorption des éléments nutritifs ;
- Ancrage et fixation de la plantes.

II.5.2 La rhizosphère

II.5.2.1 Le concept de la rhizosphère

Le terme rhizosphère a été introduit en 1904 par Lorenz Hiltner . « Rhizo » vient du grec « Rhiza » signifiant racine, « Sphère » vient du latin « Sfaira » (signifiant balle, ballon ou globe). La sphère définit le champ d'influence du système racinaire . Les racines, le chevelu racinaire et les poils absorbants sont en contact intime avec les particules du sol (Bourbia,2013).

Le terme rhizosphère désigne la mince couche de sol qui entoure les racines absorbantes et dont la composition est profondément modifiée par l'activité et le métabolisme de la racine

(Schröder et Hartmann, 2003). Elle diffère de la masse du sol par son pH, son potentiel d'oxydoréduction, par l'abondance et la composition de la matière organique et enfin par sa forte activité biologique qui se traduit par une teneur élevée en CO₂. Ainsi, malgré le petit volume qu'occupe la rhizosphère dans le sol, elle joue un rôle central dans le maintien du système sol-plante (Bourbia, 2013).

II.6 Modification de la disponibilité dans la rhizosphère

La rhizosphère est définie comme le volume de sol entourant les racines qui est affecté par l'activité racinaire. Celle-ci induit des modifications des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol qui affectent les processus biogéochimiques à l'interface sol/solution régulant ainsi la disponibilité des nutriments (Betencourt, 2012).

Il est ainsi maintenant admis que la disponibilité dans la rhizosphère est modifiée par d'autres processus rhizosphériques que le prélèvement. Les modifications de disponibilité des nutriments sont induites directement par les racines ou, indirectement, via la stimulation des microorganismes. L'acquisition d'un nutriment dépend ainsi de l'effet de l'ensemble des processus rhizosphériques sur la disponibilité en P dans la rhizosphère. Les caractéristiques de ces processus rhizosphériques sont reconnues pour varier selon les espèces et les géotypes présentant des capacités d'acquisition contrastées (Betencourt, 2012).

II.7 Le phosphore dans la rhizosphère

On entend par biodisponibilité du P, la fraction du P susceptible d'être prélevée par la plante. L'évaluation quantitative de cette fraction devient délicate lorsqu'on s'intéresse à la diversité des formes de P ajoutée à la multiplicité, la diversité et l'interactivité des mécanismes impliqués dans la régulation du transfert des ions P dans le système sol-solution racine (Mollier et Pellerin, 1999). Parmi ces mécanismes, on peut distinguer par ordre d'importance:

- L'abaissement de la concentration des ions P à la surface de la racine suite à son absorption conduisant à la création d'un gradient entre cette surface, la solution du sol et sa phase solide;
- Le déplacement des ions P par diffusion dans la solution du sol suite à l'existence de ce gradient de concentration (Jungk et Claasen, 1997);

- Le flux de convection de l'eau du sol (mass flow) associé à la transpiration des cultures. Ce transport est considéré négligeable compte tenu de la faible concentration du P dans la solution (Jungk et Claasen, 1997);
- Les dissolutions de P précipité par modification du pH et/ou des propriétés rédox et d'autres réactions de complexation par exsudation de composés organiques;
- La production d'enzymes (phosphatases et phytases) par les racines et les microorganismes capables de dégrader les composés organiques et de libérer ainsi les ions de P dans la solution (Mollier et Pellerin, 1999).

II.8 Acidification de la rhizosphère sous déficience en phosphore

Le phénomène d'acidification est identifié dans le cas du maïs et du lupin blanc. Il est particulièrement important chez les légumineuses. Ainsi, le pH dans la rhizosphère peut s'avérer être différent du sol non rhizosphérique (sol global), pouvant atteindre une différence de une ou deux unités de pH (Hinsinger, 2001). Ce phénomène s'avère très intéressant dans les sols calcaires et alcalins. Par contre dans les sols acides, il peut être nuisible dans la mesure où une acidification trop importante conduit à intensifier la solubilité des ions phyto-toxiques tels que l'aluminium. Dans ce cas, le phosphore est rendu biodisponible par échange d'ions OH⁻ et de HCO₃⁻ sur les oxy-hydroxydes de fer et d'alumine. D'autre part, le phénomène d'acidification peut être également dû à la libération des acides organiques dans le sol (Latati, 2015).

II.9 Facilitation pour le phosphore

La facilitation entre deux espèces A et B correspond au cas où leurs interactions sont positives, se traduisant par une amélioration de la productivité de l'une ou l'autre espèce, voire des deux, par opposition à la compétition, c'est-à-dire aux interactions négatives entre espèces. Appliqué au partage de ressources du sol telles que le phosphore (P), la facilitation entre les deux espèces associées A et B se produit si une espèce (ici l'espèce B) est capable d'augmenter la disponibilité de cette ressource dans le sol, au profit de l'espèce associée (ici l'espèce A). Ce phénomène se produit dès lors que l'espèce B est capable de mobiliser une part du large pool de P non disponible pour l'espèce A (Hinsinger, 2012). (Figure 3)

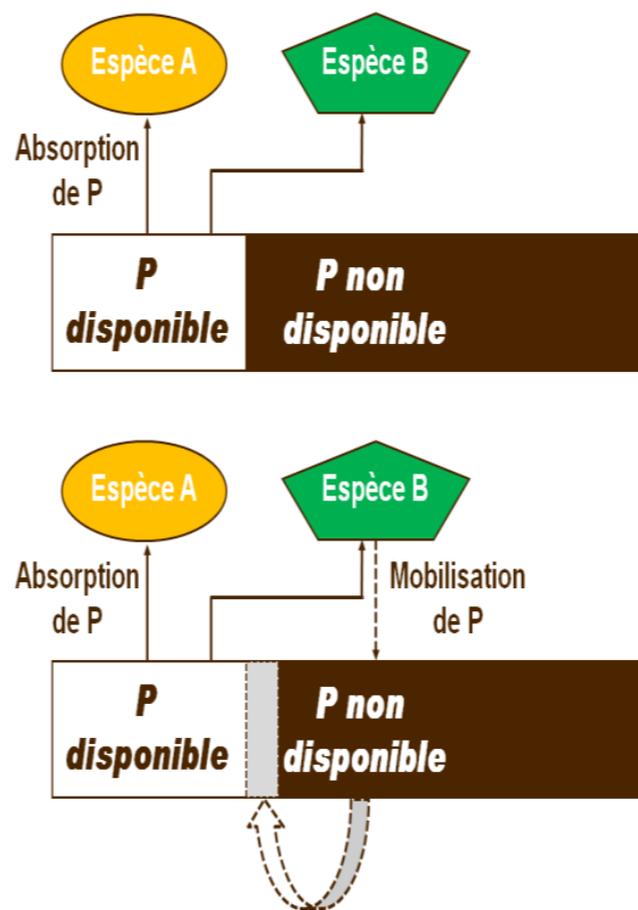


Figure 3: facilitation pour le phosphore entre deux espèces (Hinsinger, 2010).

II.10 Interactions entre plantes pour une ressource : interactions racinaires pour l'acquisition d'un nutriment

Les deux grandes catégories de mécanismes proposées ci-dessus sont le résultat des interactions entre individus pour une ressource. Lorsque les individus appartiennent à la même espèce ces interactions sont dites intraspécifiques tandis qu'elles sont interspécifiques dans le cas de plusieurs espèces. La notion d'interaction entre individus a été utilisée sous différentes perspectives suivant les objectifs des auteurs. Le formalisme de Goldberg (1990) permet de clarifier la définition et de l'adapter à l'acquisition d'un nutriment. L'auteur place la ressource au centre de sa définition et prend en compte « l'effet » des individus sur sa disponibilité, « la réponse » des individus à ces variations ainsi que l'influence de l'environnement sur la disponibilité de la ressource. L'effet est relatif à l'acquisition de la ressource alors que « la réponse » fait référence à l'utilisation de la ressource et donc aux performances de l'individu. Ces deux catégories de mécanismes peuvent être difficiles à dissocier. Dans le cas du partage d'une ressource entre individus, le terme interaction désigne ainsi le cas où l'acquisition par un individu affecte celle d'un autre (Betencourt, 2012).

Les interactions sont généralement classées en deux types, négatifs ou positifs, respectivement désignées sous le nom de compétition ou de facilitation. La compétition est définie comme la diminution des performances en termes de croissance, de reproduction et/ou de survie par un autre individu *via* la diminution de l'accès à la ressource. Cela peut être induit directement par la réduction de la disponibilité de la ressource suite au prélèvement de l'individu voisin, ou indirectement par l'intermédiaire de l'exsudation de molécules toxiques (allelopathie), la compétition est alors désignée respectivement comme « explicative compétition » ou « interférence compétition ». La facilitation correspond, à une augmentation des performances d'un individu suite à l'accroissement de la disponibilité de la ressource induite par un autre individu suite à une modification de l'environnement (Betencourt, 2012).

III. Les margines

III.1 Introduction

L'Algérie fait partie des principaux pays méditerranéens dont le climat est des plus propices à la culture de l'olivier (Bensemmane, 2009) qui constitue la principale espèce fruitière. Cette industrie, tant bénéfique pour l'économie nationale, génère des rejets liquides « le margine », qui est un sous produit de l'huile d'olive (Esmail et al,2013). Partant de ce fait, la richesse

des margines en matière organique, en éléments minéraux et en eau rend leur utilisation rationnelle et contrôlée en tant que fertilisant, une solution possible de dépollution et de valorisation (Ben rouina et al,2014) .

III.2 Les margines

Les margines sont un liquide d'aspect trouble, de coloration brune-rougeâtre à noire. Leur odeur rappelle celle de l'huile d'olive, mais elle peut devenir gênante lors des phénomènes de rancissement ou de fermentation. Elles sont caractérisées par un pH acide (3-5) et une très grande conductivité électrique (C.E). Sa couleur noire est due à la présence des polyphénols . Les margines peuvent être considérées comme un complexe chargé en matières organiques et minérales (Iboukhoulef, 2014).

III.3 Compositions des margines

La composition des margines a été étudiée par plusieurs chercheurs et comporte approximativement 83 à 94% d'eau, 4 à 16% de matières organiques et 0,4 à 2,5% de substances minérales (Hallah,2003).

Tableau 1 : composition des margines des margines (Hallah, 2003).

composante	% en poids des matières fraîches
Matière sèche	1.4-17
Matières minérales	10-15
Sucres divers	30-50
Graisses et huiles diverses	12-35
Composés phénoliques	5.0-25
Azote organique	<10%

III.3.1 Fraction minérale

Les margines contiennent des quantités significatives en sels minéraux, dont 80% sont solubles (phosphates, sulfates et chlorures) et 20% insolubles (carbonates et silicates).D'après Fiestas Ros de Ursinos et Borja (1992), les éléments les plus représentatifs sont le potassium (47%), les carbonates (21%), les phosphates (14%) et le sodium (7%).

La composition minérale des margines a été aussi étudiée. Le tableau 2 montre les valeurs des éléments minéraux en % du poids de la matière sèche.

Tableau 2: constituants minéraux des margines (Hallah, 2003).

Eléments	Valeur en % du poids de la matière sèche
Potassium (K_2O)	5 – 10
Calcium (CaO)	0,2 - 2,5
★ Phosphore (P_2O_5)	0,5
Magnésium (MgO)	3,0
Sodium (Na_2O)	<1%

III.4.2 Fraction organique

Les margines comportent deux fractions organiques :

- Fraction insoluble constituée essentiellement de pulpes d'olives. Cette fraction représente les matières en suspension et colloïdales (Hallah, 2003).
- Fraction soluble dans la phase aqueuse qui contient les sucres, les lipides, les acides organiques et les composés phénoliques (Hallah, 2003).

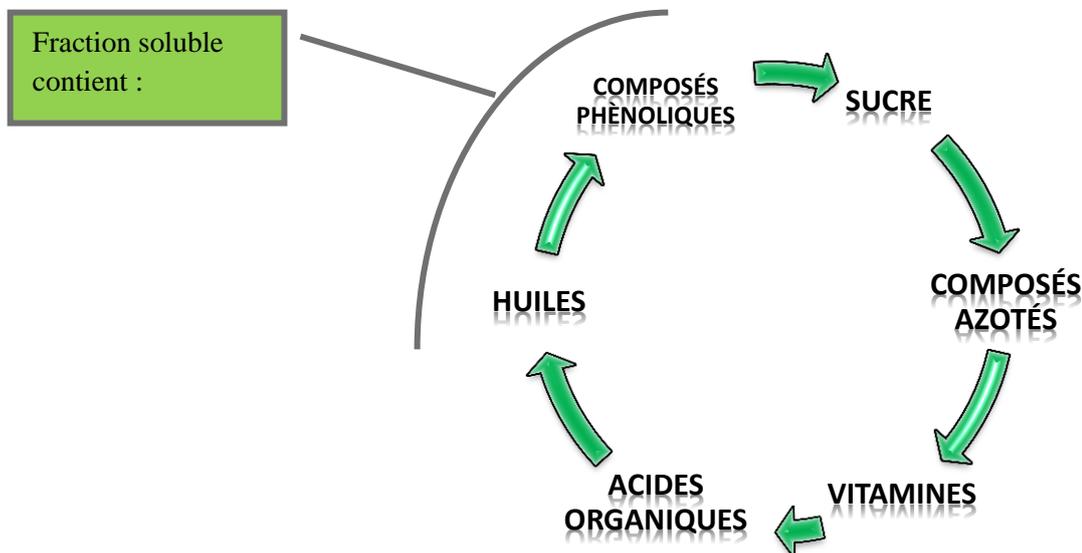


Figure 4 : les composantes de la fraction soluble des margines

III.5 Valorisation des margines

Les margines posent un sérieux problème de contamination pour tous les pays oléicoles. En relation avec l'industrie et l'environnement. Sachant que 1 mètre cube de margine équivaut à la pollution engendrée par 1200 habitants. 25 à 40 millions de mètres de cubes de margines sont produit annuellement, dont 90% sont localisés dans le bassin Méditerranéenne et déversés dans la nature sans traitement préalable. De plus, les nouveaux systèmes d'extraction (centrifugation) de l'huile multiplient par 3 la quantité d'eau utilisée et donc de margine.

Le problème de la valorisation des margines est donc inquiétant et se pose en termes de préservation de l'environnement. (Nafzaoui, 1991).

I. Matériels et méthodes

Nos échantillons ont été récupérés au niveau du laboratoire de pédologie (UMMTO), le sol en question date de l'expérimentation qui a été menée par Sid Ali et Kefsi (2016).

Sid Ali et Kefsi (2016) ont résumé le matériel et les méthodes utilisés :

L'essai se déroule au niveau de L'Institut agricole spécialisé en agriculture de montagne (ITMAS) de Boukhalfa durant l'année 2015/ 2016. Le dispositif expérimental a été conduit en bloc aléatoire complet à 2 facteurs en pot: type de culture, (triticale et pois fourrager en monoculture, en association), à deux doses d'irrigation par les effluents d'huileries d'olives ($D_0=0\text{m}^3/\text{ha}$, $D_1=50\text{ m}^3/\text{ha}$). Les densités de semis étaient les mêmes pour les deux traitements (avec et sans apport de margine). L'échantillonnage du sol global et du sol rhizosphérique a été réalisé 75 jours après semis. En 2017, nous avons procédé à la mesure du phosphore assimilable selon Olsen et du phosphore total a été réalisé L'analyse des échantillons a été entièrement effectuée au sein du laboratoire d'analyses des sols et des eaux du **Bureau National D'études pour le développement rural (BNEDER)**.

I.1 Le phosphore assimilable. Methode Olsen

L'extraction a été faite selon la méthode Olsen 1982 qui consiste en l'extraction du phosphore avec une solution de bicarbonate de sodium 0.5 N dont le pH est de 8.5. le dosage est basé sur la formation et la réduction d'un complexe formé par l'acide phosphorique et l'acide chlorosulfomolybdique. Le complexe phospho – chlorosulfomolybdique ; sous l'effet de la chaleur et en présence d'acide ascorbique développe une coloration bleue proportionnelle a la concentration de la solution en ortho phosphate, puis passage au colorimètre (Figure :5) les résultats sont exprimés quantitativement (ppm, mg/Kg de sol). Pour ce faire une gamme étalon est constituée (Figure : 6), qui a permis de réaliser la courbe étalon (Figure :7).



Figure 6: Colorimètre pour le dosage du phosphore assimilable

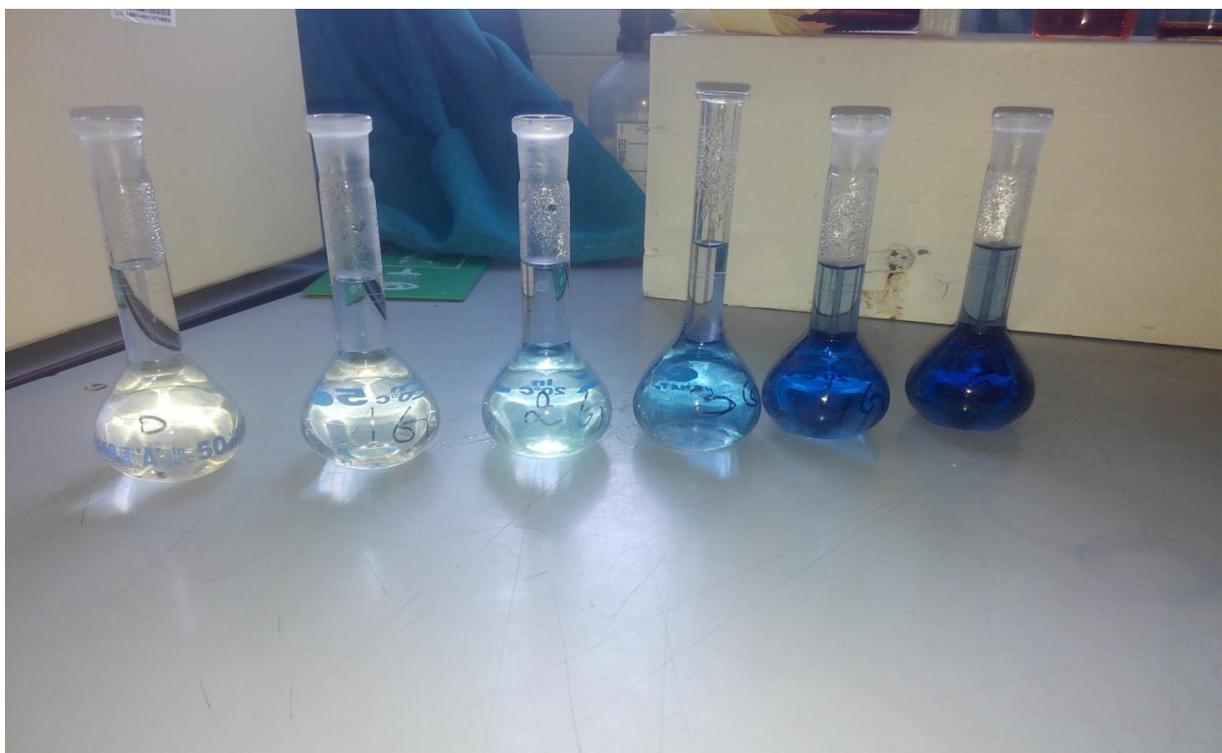


Figure 6 : la gamme étalon

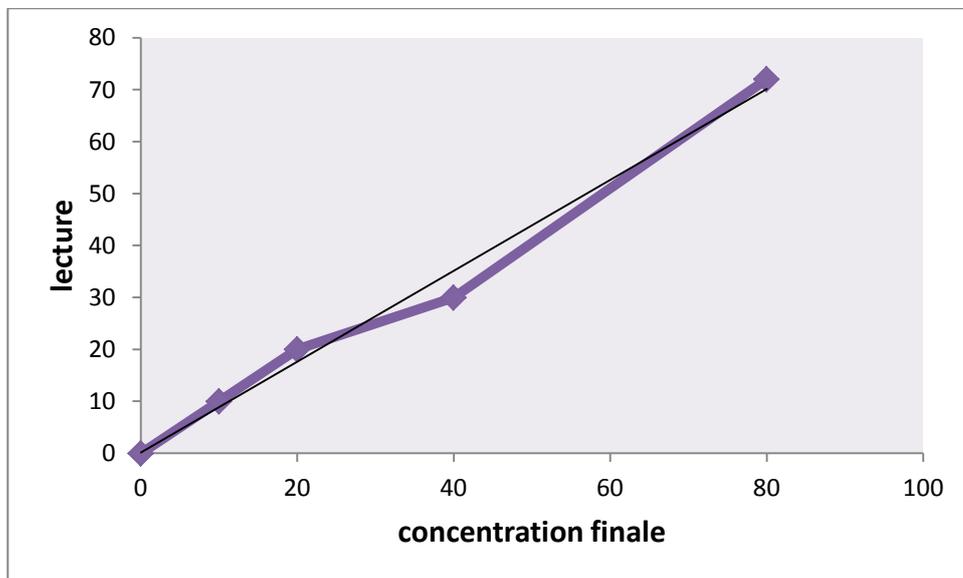


Figure 7 : la courbe étalon

I.2 Le phosphore total

le principe de la méthode est d'extraire le phosphore par une digestion à l'acide perchlorique et nitrique (Figure :9), avec un rapport sol/acide de 1/10. La suspension est ensuite placée sur un bain de sable à 80° C (Figure :9) jusqu'à apparition d'une fumée blanche puis diluer et filtrer. Le dosage se fait par auto analyseur (Figure :10)



Figure 8 : préparation des réactifs chimiques (l'acide perchlorique et l'acide nitrique)



Figure 9: chauffage sur bain de sable, les matras couvert avec un entonnoir



Figure 10 : auto analyseur pour le dosage du phosphore total

I.3 Analyse statistique

Nous avons procédé aux analyses statistiques suivantes on utilisant le logiciel STAT-BOX : Une analyse de la variance à 3 facteurs (cultures, sols, irrigation avec margine) a été réalisée pour toutes les caractéristiques des sols étudiés, et une comparaison des moyennes est faite selon le test de Newman-Keuls au seuil de probabilité de 5%.

I. Description du profil pédologique

Le profil pédologique est présenté au niveau de la (figure 11) .

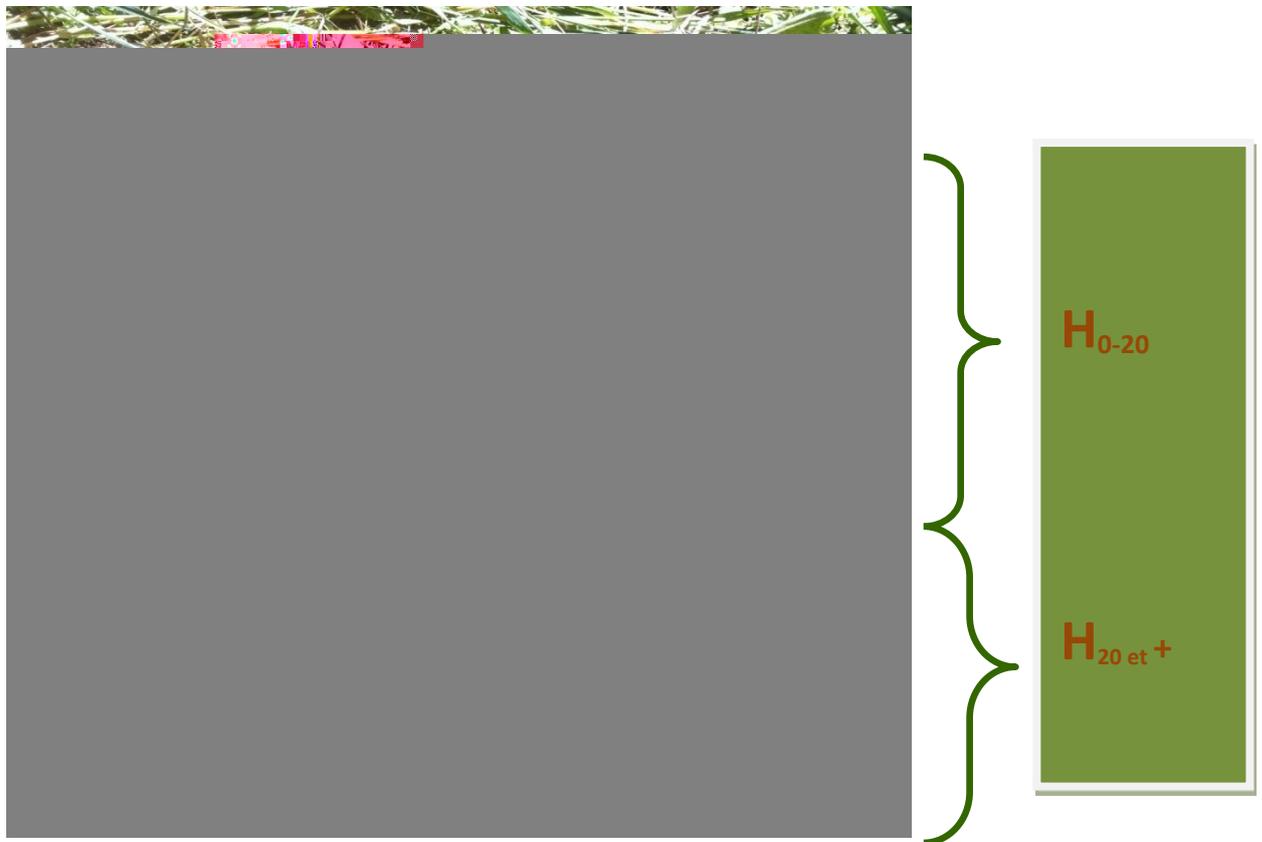


Figure 11: profil du sol ouvert au niveau de l'ITMAS de BOUKHALFA (Sid Ali et Kefsi, 2016).

-Horizon de surface 0-20 cm : E ϕ guv"wp"jqtk|qp"a structure polyédrique sub- angulaire, de texture limono-argileuse, de couleur 7,5 Y/2 5/1, calcaire, bonne activité biologique, faible porosité, racines fines abondantes.

-Horizon de profondeur 20cm et plus

La structure de cet horizon est polyédrique sub- anguleuse , sa texture est limono-argileuse Sa couleur : 7,5 Y R/3/1(brin), peu calcaire, bonne activité biologique, bonne porosité, absence de racines, le sol est frais.

I.1 Caractéristiques physico-chimiques du sol

Le sol est argileux, à pH alcalin, moyennement calcaire. Ce sol est classé comme cambisol calcaric par la WRB (2006) (Sid Ali et Kefsi, 2016).

Tableau 3 : résultats des analyses de sol du profil (Sid Ali et Kefsi, 2016).

Horizon profondeur		Texture					pH	CaCO ₃ %
		A%	LF%	LG%	SF%	SG%		
A	0-20	19,25	39,95	29,49	6,71	4,6	7,8	5,5
B	20 et +	13,95	41,45	32,72	6,75	5,13	8,10	5,2

II. Variation des paramètres chimiques des sols

II.1 pH

II. 1.1 Effet de l'irrigation par les margines

- **Sur les monocultures**

Il n'y a pas eu d'effet significatif sur le pH, que ce soit pour le triticale ou le pois fourrager, avec ou sans apport de marge (figure 12).

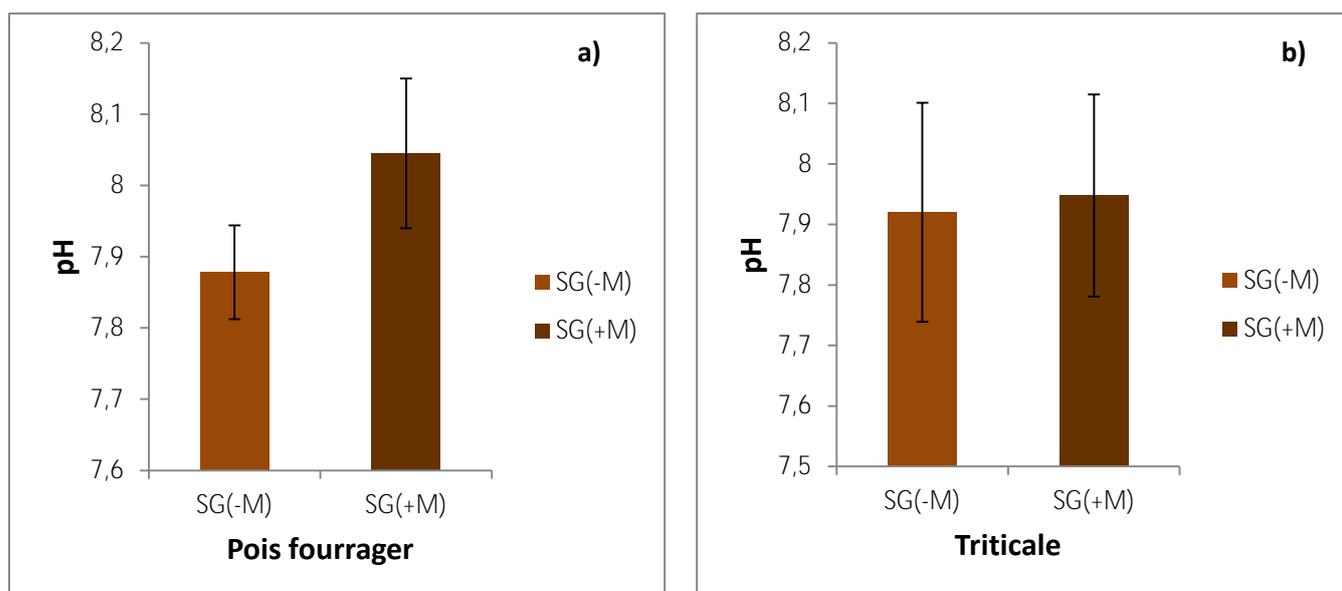


Figure 12: pH du sol global (SG) sans marge (-M) et avec marge (+M) des cultures monospécifiques. (a) le pois fourrager et (b) le triticale.

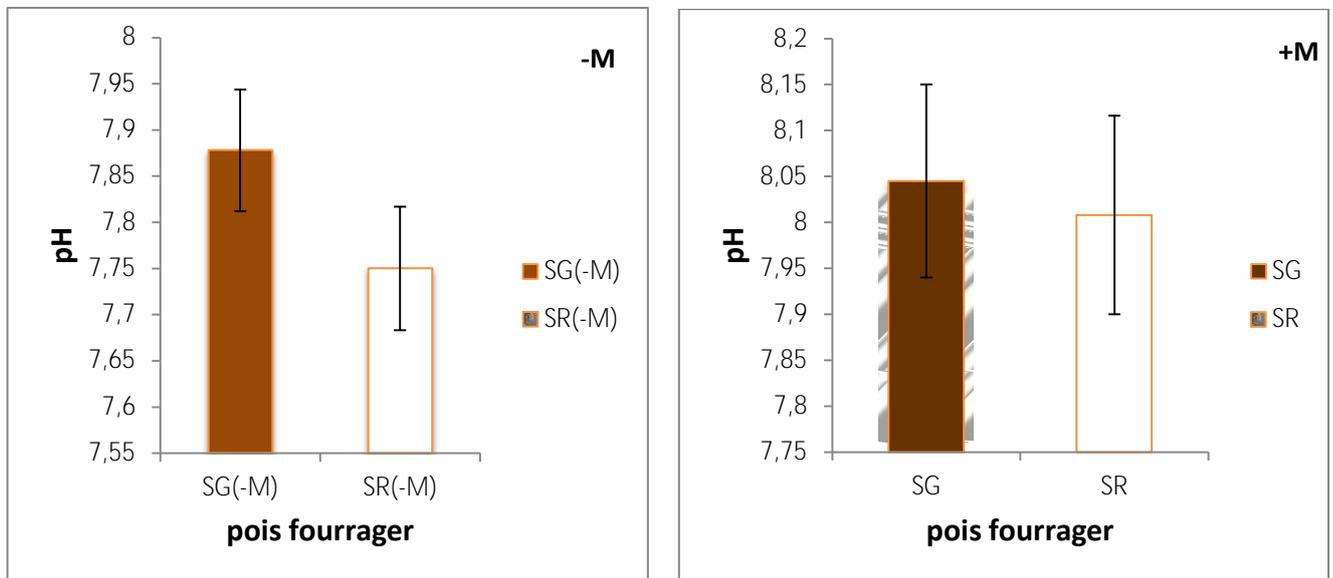
- **Sur l'association triticale / pois fourrager**

Nøcrrqtv" fg" octikpg" c" wp" ghhg" pqp" ukiptkcevk" uwt" ng" pH, en association (triticale/pois fourrager), avec ou sans apport de margine.

II.1.2 Effet de l'activité de la racine sur le pH

- **Sur les monocultures**

Nøcevkv² de la racine, a un effet non significatif sur la teneur en pH, que ça soit pour le triticale ou le pois fourrager, avec ou sans apport de margine (figure 13).



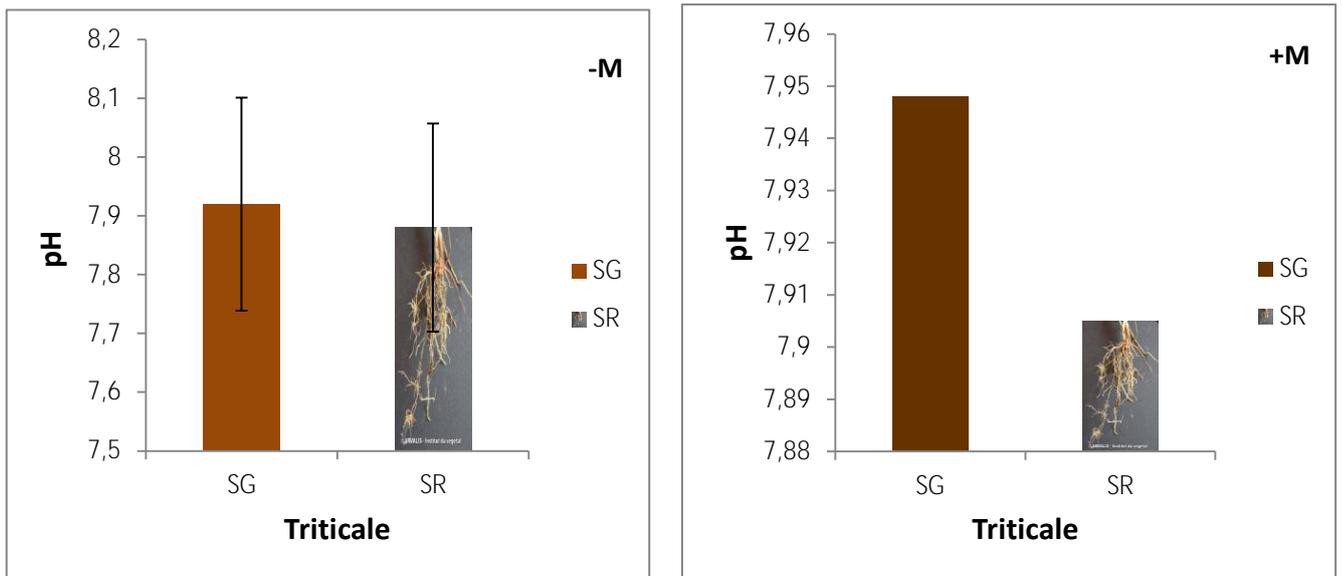


Figure 13 : pH du sol global (SG) et rhizosphérique (SR) sans marge (-M) et avec marge(+M) des cultures monospécifiques le pois fourrager et le triticale.

- **Sur l'association triticale – pois fourrager**

Nøcevkxkv²" fg"nc"tcepg" c"wp"ghgv"pqp"uk i pkhkecvkh"uwt"ng" r J ." swg" ±c"uqkv"" cxge"qw"ucpu" cr rqtv" fg" marikpg." fcpu"ng"ecu"fg"nøcuuqekcvkqp (figure 14).

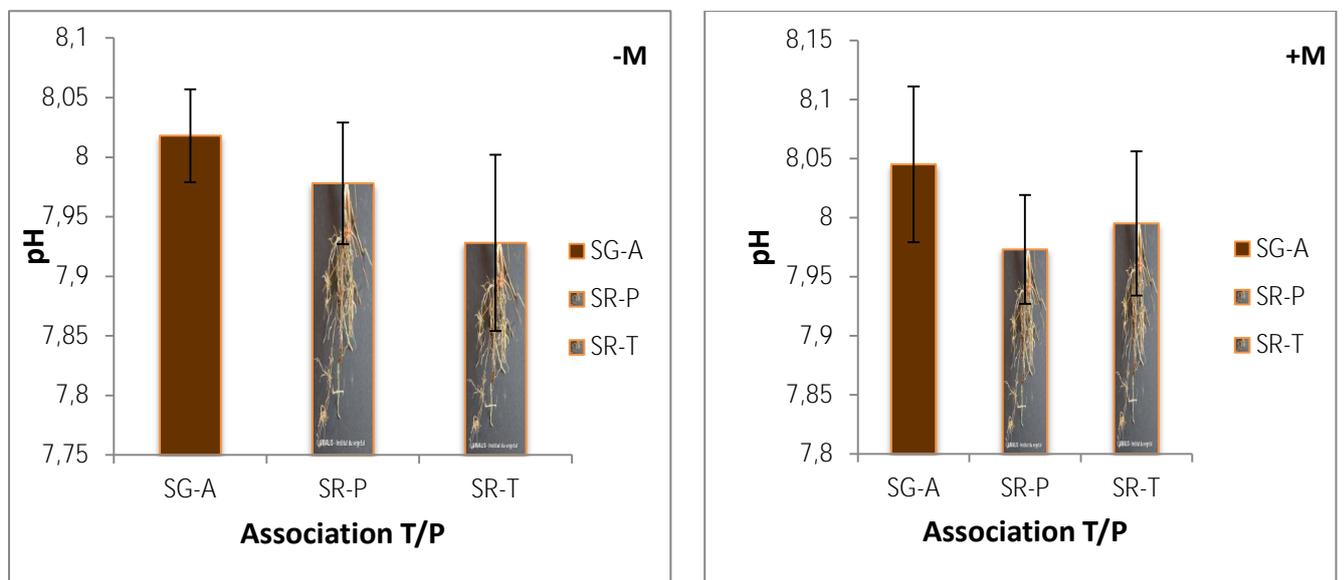


Figure 14 : pH du sol global en association (SG-A) et rhizosphérique du pois fourrager (SR-P) et du triticale (SR-T) sans marge (-M) et avec marge(+M) de la culture associée triticale/pois fourrager.

II.1.3 Effet de l'association des cultures sur le pH

Nøcevkxkv² fg"nc" tcekpg" c" wp" ghgv" pqp" uki pkhkecvkh" uwt" ng" r J, avec et sans apport de margeine fcpu"ng"ecu" fg"nøcuuqekcvkqp0

II.2 Le phosphore assimilable

Les teneurs en P Olsen des 3 cultures avec et sans irrigation de margeine sont présentées au niveau du tableau 4.

Tableau 4 : Teneurs en P Olsen (mg.Kg⁻¹), dans le sol global et le sol rhizosphérique chez le pois fourrager et le triticales, dans le cas des différents traitemets : monoculture et association avec apport de margeine (+M) et sans apport de margeine (-M).

	Fertilisation M	Cultures traitées	Pois fourrager		Triticale	
			Sol G	Sol Rh	Sol G	Sol Rh
P Olsen (mg .Kg⁻¹)	-M	Monoculture	9,25	11	8,5	9,75
		Interaction	9	15,25	-	13,5
	+M	Monoculture	14	15,25	12	13
		Interaction	16,75	19,75	-	17,25

II.2.1 Effet de l'irrigation par les margines

- **Sur les monocultures**

De façon générale, l'irrigation a augmenté le P Olsen du sol global dans les cultures monospécifiques.

Pour le pois fourrager, le P Olsen a montré une augmentation significative ($p \leq 0,01$, annexe 1) dans le sol avec margeine (P Olsen=14ppm), comparativement au sol sans margeine (P Olsen=9,25ppm) (Figure 15). Le test de NEWMAN et KEULS classe le P Olsen des sols en deux groupes (annexe 2).

Pour le triticales, le P Olsen augmente significativement ($P \leq 0,05$, annexe 3) dans le sol avec margeine (P Olsen=12ppm), comparativement au sol sans margeine (P Olsen=8,5ppm) (Figure 16). Le test de NEWMAN et KEULS classe le P Olsen des sols en deux groupes (annexe 4).

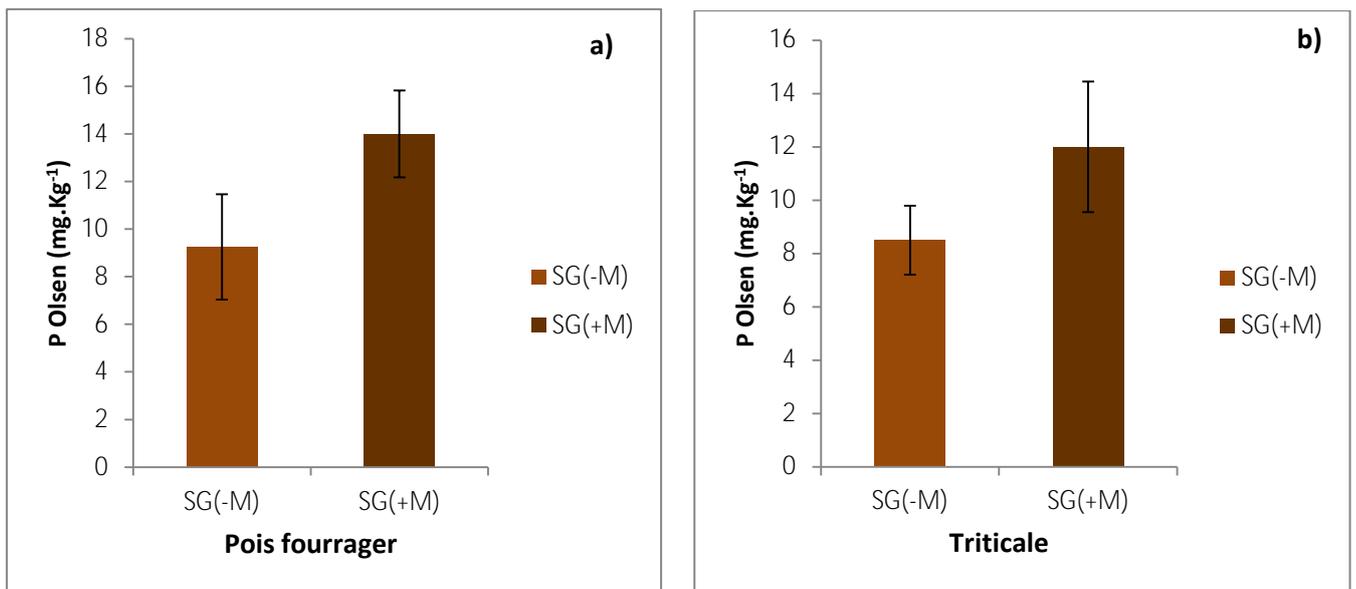


Figure 15: teneur en P Olsen (mg Kg^{-1}) du sol global (SG), sans margine (-M) et avec margine (+M) des cultures monospécifique (a) pois fourrager et (b) triticale.

- **Sur l'association triticale / pois fourrager**

Nøcrrqtv" fg" octikpg" a augmenté le P Olsen, le P Olsen=9ppm à P Olsen= 16,75ppm avec apport de margine.

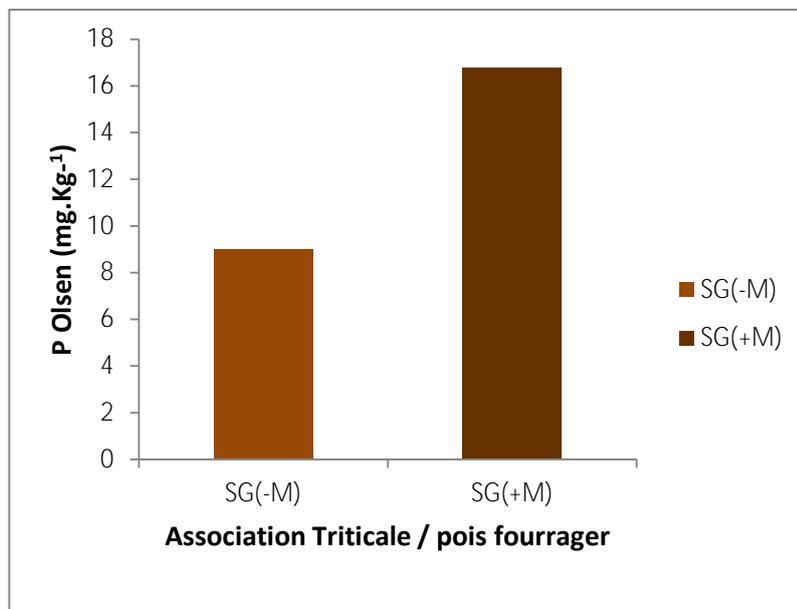


Figure 16 : teneur en P Olsen (mg Kg^{-1}) du sol global (SG), sans margine (-M) et avec margine (+M) des cultures associée triticale/pois fourrager.

II.2.2 Effet de l'activité de la racine sur la teneur en P Olsen

- Sur les monocultures

Nøcevkvxkv²" fg"nc"tcekpg, a un effet non significatif sur la teneur en P Olsen, que ça soit pour le triticale ou le pois fourrager, avec ou sans apport de margine.

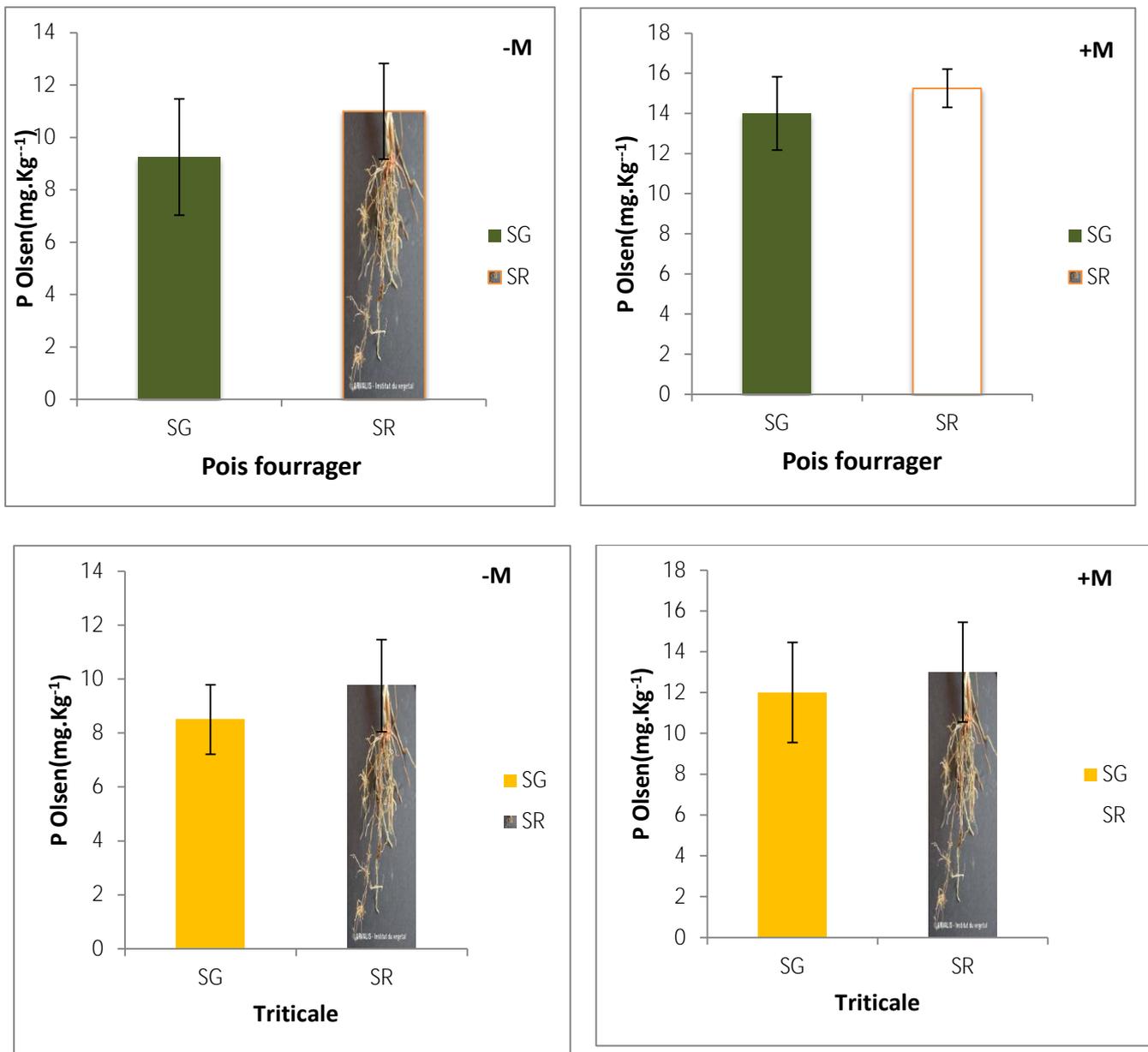


Figure 17: effet de nøcevkvxkv²" tcekpcktg" uwt" nc" veneur en P Olsen (mg Kg⁻¹), du sol rhizosphérique des monocultures (pois fourrager et triticale), en absence de margine (-M) et en présence de margine (+M).

• Sur l'association

Nøcevkvxkv² fg"nc"tcekpg"cwpg"ghhgv"pqp"uignificatif sur la teneur en P Olsen, que ça soit pour le triticales ou le pois fourrager, avec ou sans apport de margine.

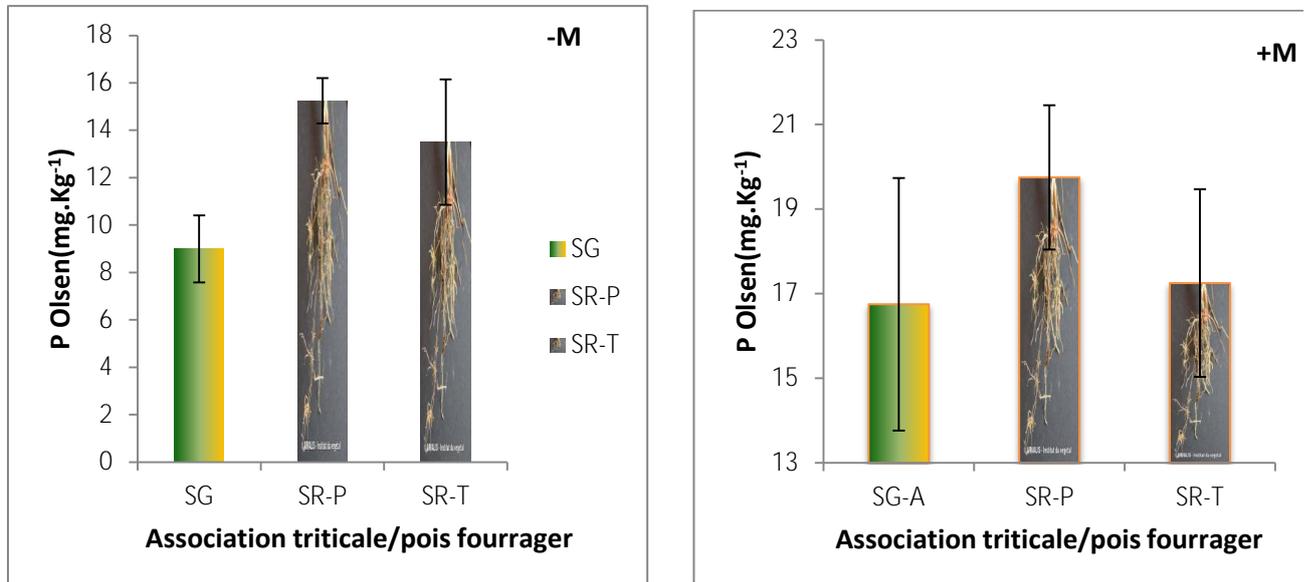


Figure 18 : ehhg" fg" nøcevkvxkv²" tcekpckt" uwt" nc" vpgw" en P Olsen (mg Kg⁻¹), du sol rhizosphérique de la culture associée (triticales/pois fourrager), en absence de margine (-M) et en présence de margine (+M).

II.2.3 Effet de l'association des cultures sur le P Olsen

La rhizosphètg" fg" nøcuuqekcvkqp, triticales / pois fourrager, ucpu"kttkicvkqp" fg" octikpg" "uøguv" enrichie en P Olsen. Le P Olsen du sol rhizosphérique était de Po= 15,25ppm dans le cas du pois fourrager, et de Po=13,5ppm pour le triticales, comparativement à celui des monocultures : Po=11ppm pour le pois fourrager et Po=9,75ppm pour le triticales.

Fcpu"ng"ecu" fg"nøkttkicvkqp"cxge" octikpg, fg"nøcuuqekcvkqp"vkvkecnl rqu"hwttcigt"ng" P Olsen du sol rhizosphérique du pois fourrager est de Po=19,75ppm et de Po=17,25ppm pour le cas du triticales. (Figure 19).

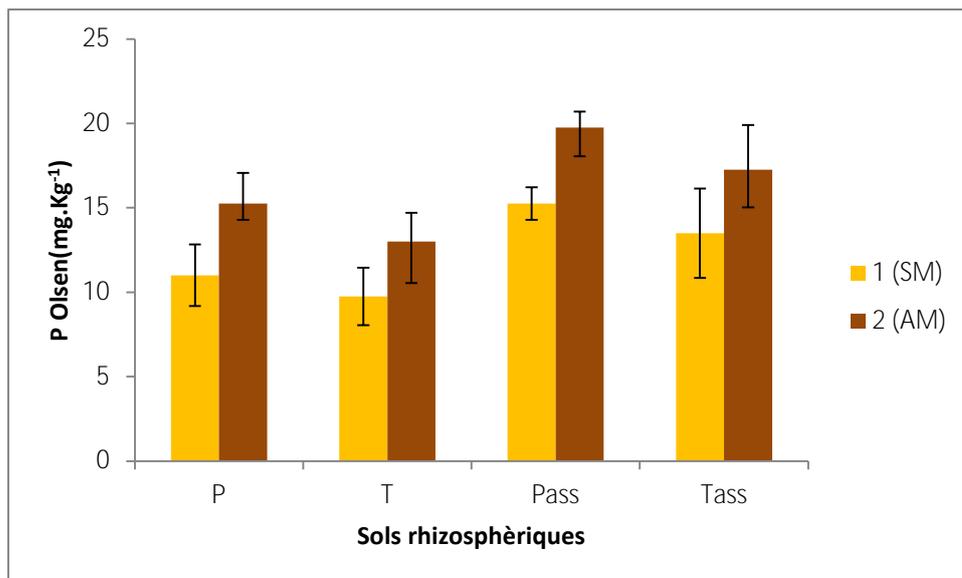


Figure 19: teneur en P Olsen (mg. Kg⁻¹) du sol rhizosphérique des monocultures (pois, triticale, pois fourrager, triticale), en absence de margine (SM) et en présence de margine (AM).

II.2.4 Effet interaction

Lorsque le pois fourrager est associé avec le triticale, et en présence de margine la rhizosphère présentée la teneur en P Olsen la plus élevée dans la rhizosphère (Figure 20). Le P Olsen était de 19,75 ppm dans la rhizosphère du pois fourrager en association et avec apport de margine. Pour le triticale la teneur en P Olsen, dans la rhizosphère en association et avec apport de margine était de P Olsen=16,75 ppm.

Figure 20 : ehhgv" fg" nòkpvgtcevkqp" uwt le P Olsen (mg. Kg^{-1}) du sol global (SG) et rhizosphérique (SR) des monocultures et de nòcuuqekcvkqp" vtkvkecnlrrqku fourrager sans margine (SM) et avec margine (AM). Le trait en pointillé représente la teneur moyenne en P Olsen ($P_o=8,91\text{ppm}$) du sol global des cultures monospécifiques et de la culture associée sans margine.

II.3 Le phosphore total

Les teneurs en P.total des 3 cultures avec et sans irrigation avec le margine sont prèsentées au niveau du tableau 5 .

Tableau 5: teneurs en phosphore total (mg. Kg^{-1}), dans le sol global (G) et le sol rhizosphérique (Rh) chez le pois fourrager et le triticales, dans le cas des diffèrents traitemets : monoculture et

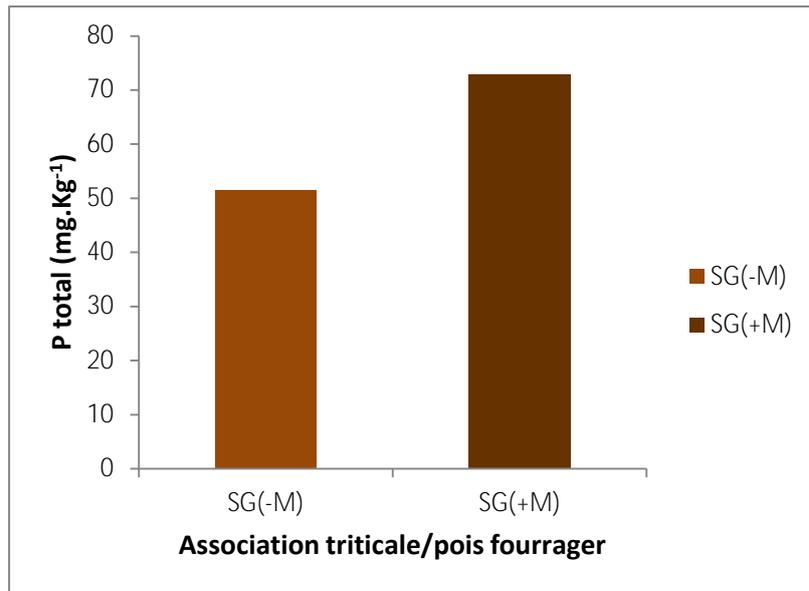
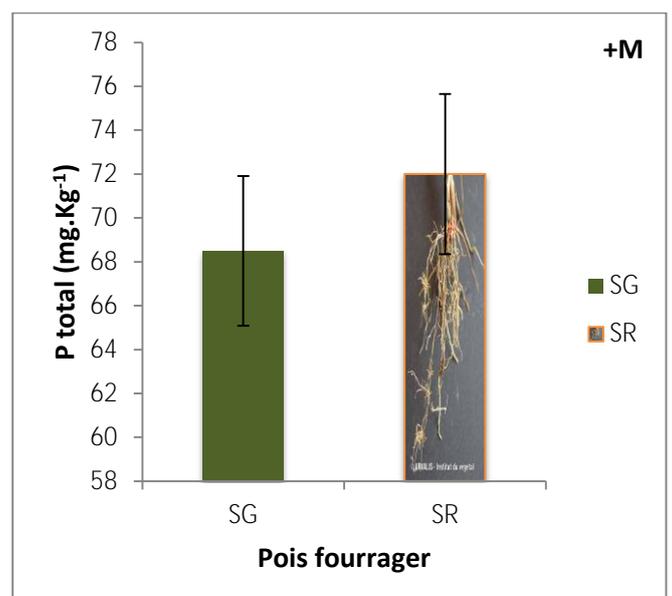
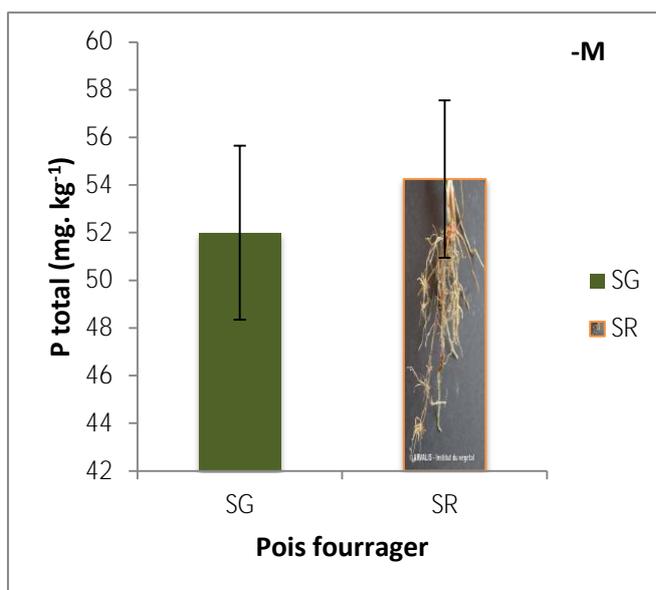


Figure 22 : teneur en P total (mg.Kg⁻¹) du sol global (SG), sans margine (-M) et avec margine (+M) des cultures associées (triticale/pois fourrager).

II.3.2 Effet de l'activité de la racine sur la teneur en P total

- Sur les monocultures

Nøcevxlkv²" fg" nc" tcekg, a un effet non significatif sur la teneur en P total, dans le cas du triticale ou le pois fourrager, avec ou sans apport de margine.



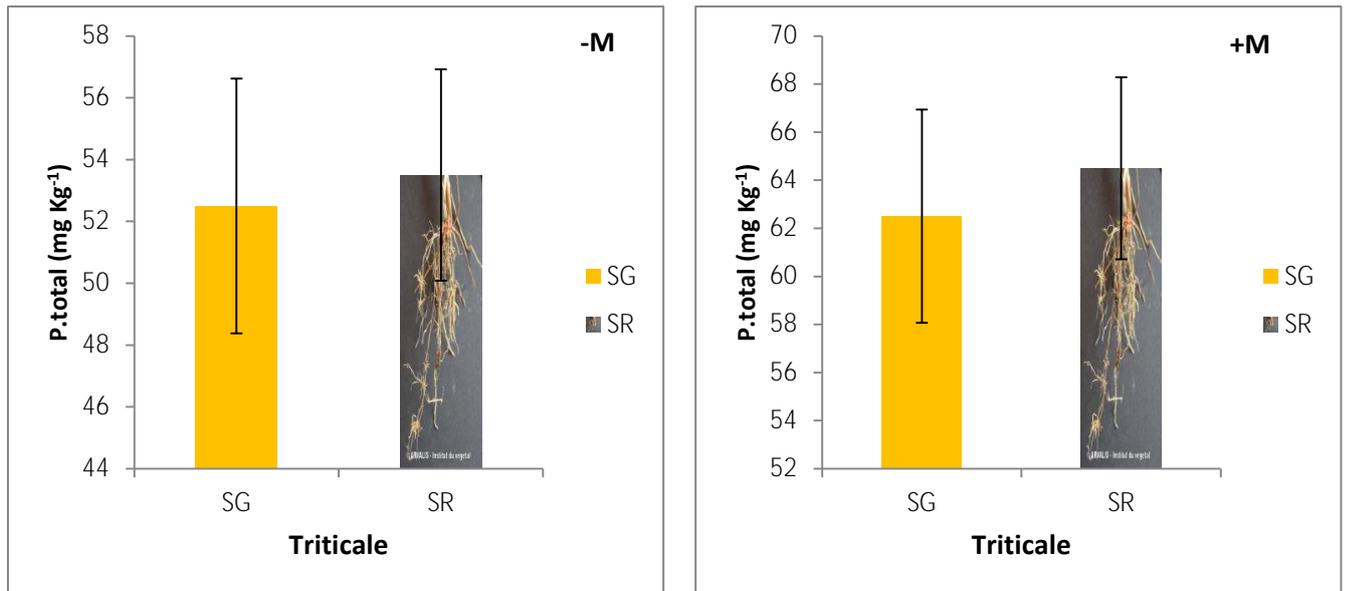


Figure 23: teneur en P total (mg Kg^{-1}) du sol global (SG) et du sol rhizosphérique (SR), des monocultures pois fourrager et triticale, en absence de marge (-M) et en présence de marge (+M).

- **Sur l'association triticale / pois fourrager**

Fc pu" ng" ecu" fg" " nøcuuqekcvkqp" gv" gp" rt²ugpeg" fg" marge, le P total du sol rhizosphérique du pois fourrager et le triticale a augmenté significativement ($p \leq 0,001$, annexe 9) de ($P_t=116,75$ ppm) pour le pois fourrager et ($P_t=109,75$ ppm) dans le cas du triticale, comparativement au sol global ($P_t=73$ ppm) (Figure 24). Le test de NEWMAN et KEULS classe le P total en trois groupes (Annexe 10).

En absence de marge, le P total du sol rhizosphérique du pois fourrager et le triticale a augmenté significativement ($p \leq 0,001$, annexe 11), $P_t = 76,5$ ppm pour le pois fourrager et $P_t = 70,5$ ppm pour le triticale, comparativement au sol global $P_t = 51,5$ ppm, (Figure 24). Le test de NEWMAN et KEULS classe le P total en deux groupes (Annexe 12).

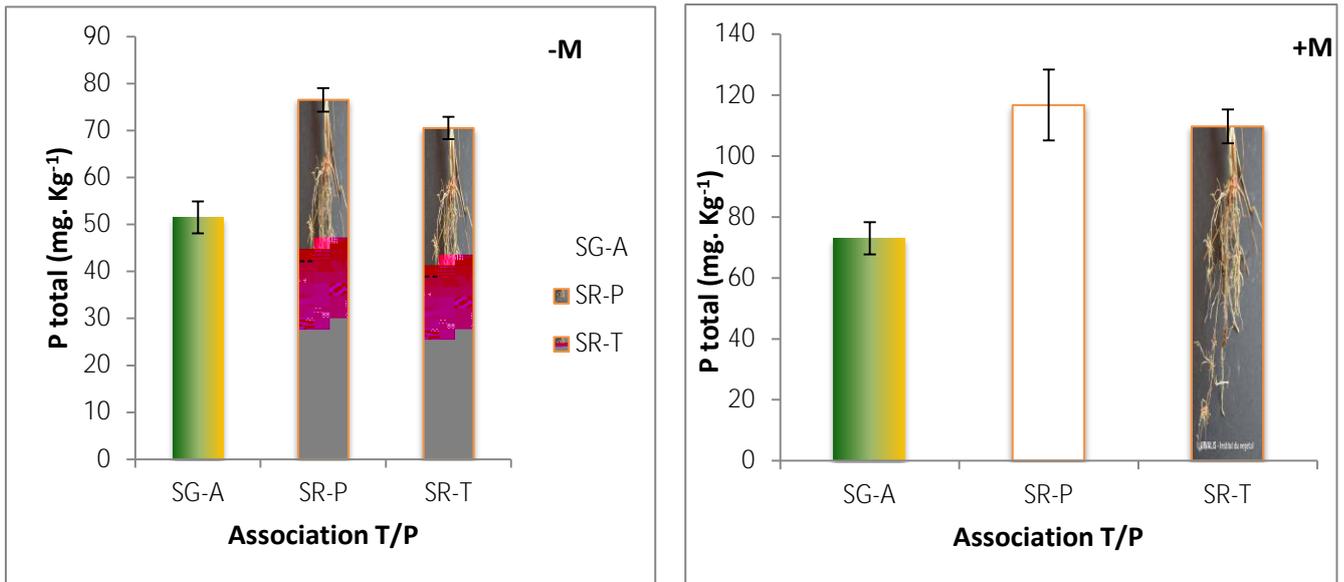


Figure 24 : teneur en P total ($\text{mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$) du sol inqdcn" *UI+" fg" nøcuuqekcvkqp (triticale/pois fourrager), en absence de marge (-M) et en présence de marge (+M).

II.3.3 Effet de l'association de culture sur le P total

La rhizosphète" fg" nøcuuqekcvkqp." vtkvkecng" raku" hqwtteigt" ucpu" kttkicvkqp" fg" octikpg" " uøguv" enrichie en P total. Le P total du sol rhizosphérique était de $P_t=75,5\text{ppm}$ dans le cas du pois fourrager et de $P_t=70,5$ pour le triticale, comparativement à celui des monocultures : $P_t=54,25\text{ppm}$ pour le pois fourrager et $P_t=53,5\text{ppm}$ pour le triticale, (Figure 25).

Fcpu"ng"ecu" fg" nøkttkicvkqp" cxge" octikpg, fg" nøcuuqekcvkqp" vtkvkecne/ pois fourrager le P total du sol rhizosphérique du pois fourrager était de $P_t=116,75\text{ppm}$ et de $P_t=109,75\text{ppm}$ pour le cas du triticale (Figure 25).

II.4.1 Effet de l'irrigation par les margines

- **Sur les monocultures**

De façon générale, l'irrigation par les marges a augmenté le P total et P Olsen du sol global des cultures monospécifiques (Figure 27).

Pour le pois fourrager, le P total et P Olsen augmentent significativement ($p \leq 0,001$, annexe 13), dans le sol avec apport de marge Pt-Po=54ppm, comparativement au sol sans marge Pt-Po =42,5ppm. Le test de NEWMAN et KEULS classe le P total- P Olsen des sols en deux groupes (annexe 14).

Pour le triticales, le P total augmente significativement ($P \leq 0,05$, annexe 15) dans le sol avec marge Pt-Po=50,5ppm, comparativement au sol sans marge Pt-Po=44ppm.

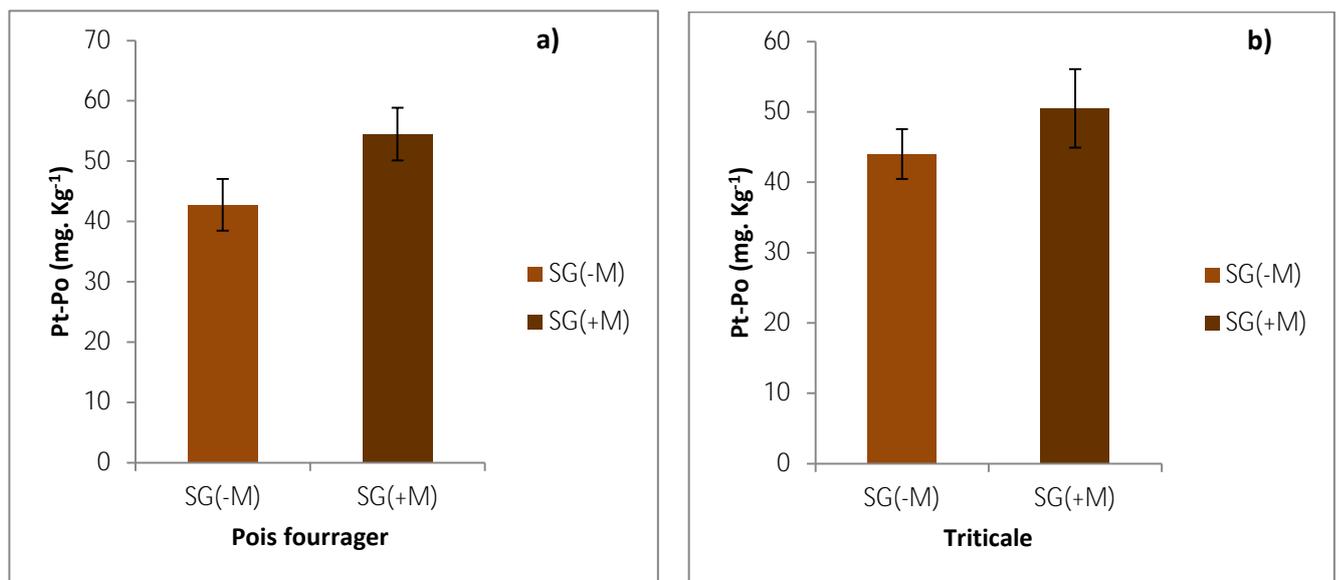


Figure 27 : teneur en P total et P Olsen (mg.Kg⁻¹) du sol global (SG), sans marge (-M) et avec marge (+M) des cultures monospécifique, (a) pois fourrager et (b) triticales.

- **Sur l'association**

De façon générale, l'irrigation par les marges a augmenté le P total et P Olsen du sol global dans les cultures associées. Le P total et P Olsen augmentent dans le sol avec marge Pt-Po=56,25ppm, comparativement au sol sans marge Pt-Po=42,5ppm (Figure 28).

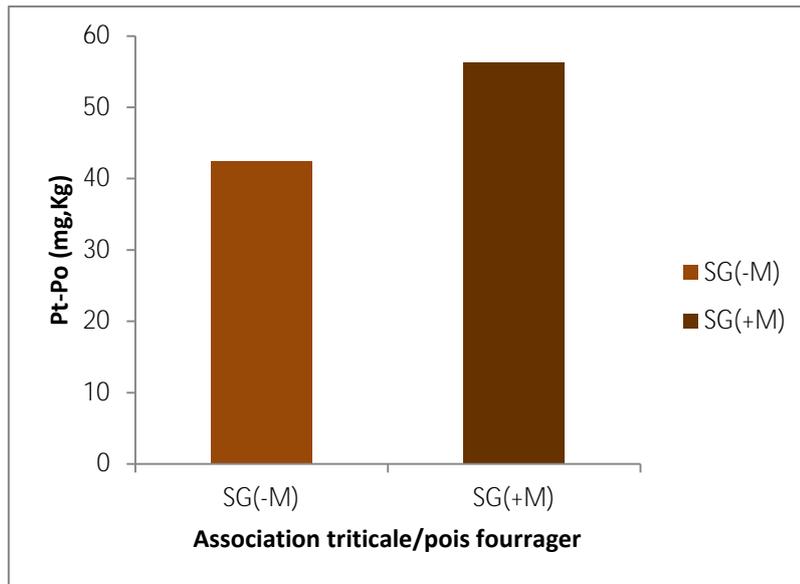
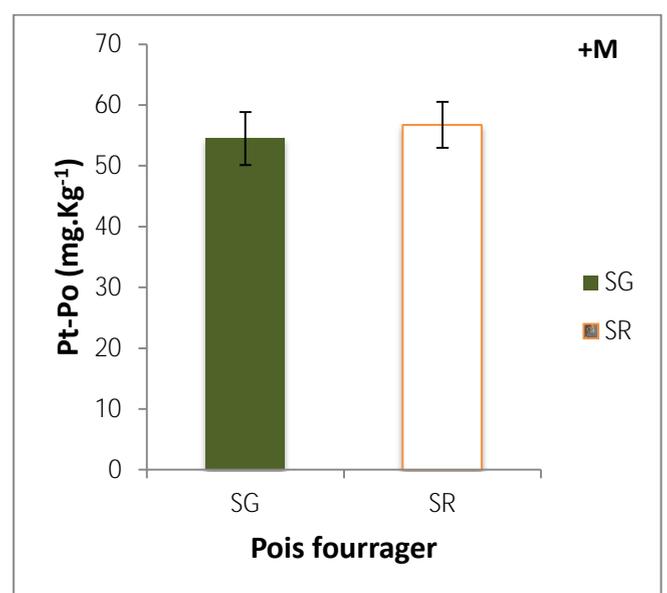
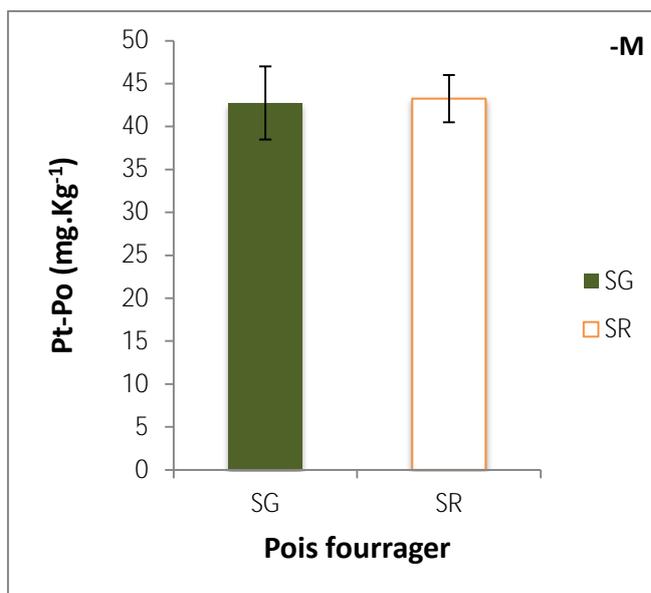


Figure 28 : teneur en P total ó P Olsen (mg.Kg^{-1}) du sol global (SG), sans marge (-M) et avec marge (+M) de la culture associée (triticale/pois fourrager).

II.4.2 Effet de l'activité de la racine sur la teneur en phosphore total – le phosphore assimilable

- Sur les monocultures

Nøcevkvxv²"fg"nc"tcekpg, a un effet non significatif sur la teneur en P total ó P Olsen, que ça soit pour le triticale ou le pois fourrager, avec ou sans apport de marge.



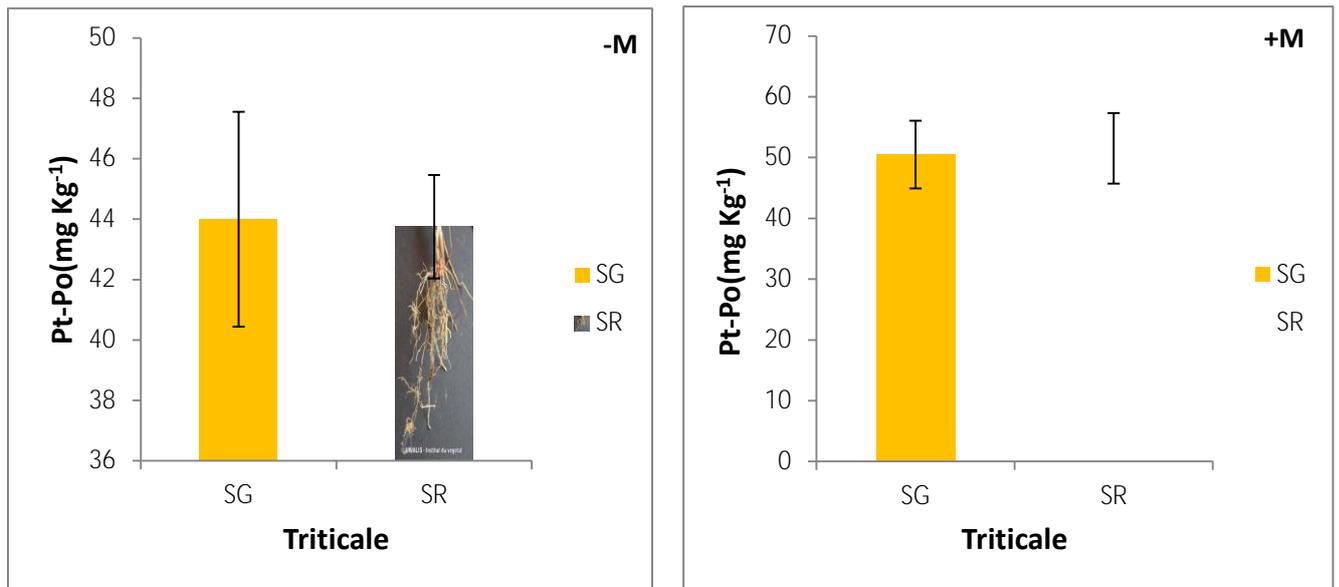


Figure 29 : teneur en P total ó P Olsen (mg Kg^{-1}) du sol global et du sol rhizosphérique des monocultures (pois et triticale), en absence de marge (-M) et en présence de marge (+M).

- **Sur l'association triticale / pois fourrager**

Depuis que nous avons étudié l'association triticale/pois fourrager et en présence de marge, le P total-P Olsen du sol rhizosphérique du pois fourrager et du triticale a augmenté significativement ($p \leq 0,001$, annexe 16), Pt-Po=97ppm pour le pois fourrager et, Pt-Po=57ppm dans le cas du triticale, comparativement au sol global Pt-Po= 56,25ppm, (Figure 30). Le test de NEWMAN et KEULS classe le Pt ó Po en deux groupes (Annexe 17).

En absence de marge, le P total-P Olsen du sol rhizosphérique du pois fourrager (Pt-Po=61,25ppm) et du triticale a augmenté significativement ($p \leq 0,001$), (Pt-Po=57ppm) pour le triticale, comparativement au sol global (Pt-Po= 42,5ppm)(Figure 30). Le test de NEWMAN et KEULS classe le P total-P Olsen en deux groupes (Annexe 19).

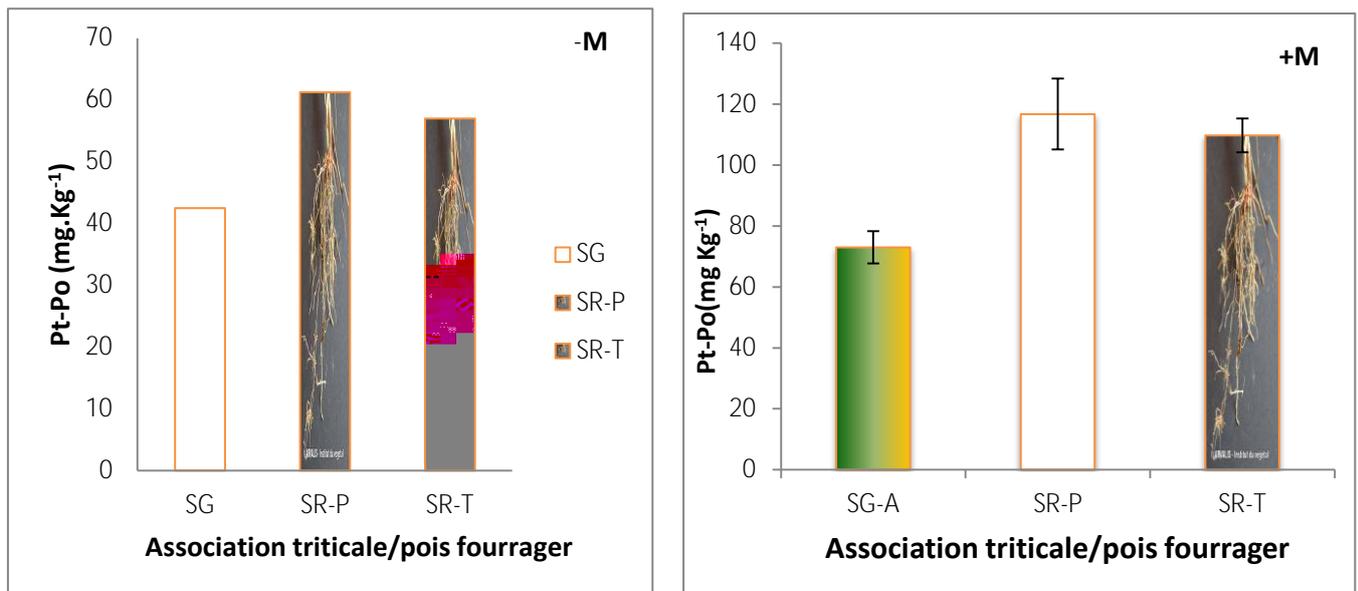


Figure 30: teneur en P total ó P Olsen (mg Kg⁻¹) du sol rhizosphérique de *triticale / pois fourrager*, en absence de marge (-M) et en présence de marge (+M).

II.4.3 Effet de l'association des cultures sur le phosphore total – le phosphore assimilable

Le sol rhizosphérique *triticale / pois fourrager* enrichie en P total-P Olsen en absence de marge, de Pt-Po=61,25ppm dans le cas du pois fourrager, et de 57ppm pour le triticale comparativement à celui du triticale en monoculture Pt-Po=43,25ppm et du pois fourrager Pt-Po=43,25ppm. En présence de marge, la teneur en P total ó P Olsen du sol rhizosphérique du pois fourrager est de Pt-Po=97ppm et de Pt-Po= 92,5 ppm pour le cas du triticale (Figure 31).

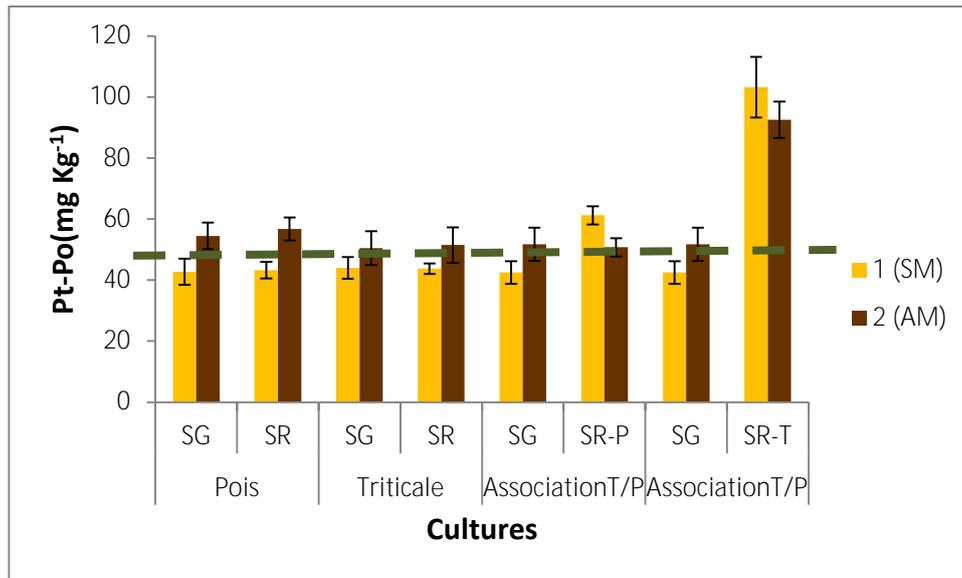


Figure 32 : Influence de l'association, des cultures et irrigation avec marge, sur le P total et P Olsen (mg. Kg⁻¹) du sol global (SG) et rhizosphérique (SR) des cultures monospécifiques et de l'association. Le trait en pointillé correspond à la teneur moyenne en P total et P Olsen (Pt-Po=46,91ppm) en absence de marge.

II.5 Gain en P Olsen dans la rhizosphère des cultures

Le gain en P Olsen (mg. Kg⁻¹) en P Olsen, est présenté au niveau du tableau 7.

Tableau 7 : gain en P Olsen dans la rhizosphère des cultures avec marge (+M) et sans marge (-M).

Fertilisation	Cultures traitées	Pois fourrager	Triticale	
Δ (mg. Kg ⁻¹)	-M			
		Monoculture	2,25	1,25
		Association	6,25	4,5
	+M			
	Monoculture	1,25	1	
	Association	3	0,5	

Le gain en P Olsen du pois fourrager de la culture associée qui a enregistré le gain en P Olsen de 4,5 mg. Kg⁻¹.

Discussion

Nøttki cvkqp" cxge" ngu" o ctikpgu" " c" gptkejk" ngu" uqu" gp" POlsen, Ptotal et Ptotal óPOlsen. Cet gptkejk uog gpv" guv" fw" «" nøcrrqtv" fg" R" rct" ngu" o ctikpgu" Gp" ghgv." Fiestas Ros De Ursinos (1986) et Nefzaoui (1987) indiquent que les margines peuvent être utilisées comme fertilisant en raison de leur teneur élevée en éléments minéraux, elles apportent au sol 3,5 à 11 kg de K₂O; 0,6 à 2 kg de P₂O₅ et 0,15 à 0,5 kg de MgO par m³. L'apport moyen en éléments fertilisants sur la base d'un épandage de 100 m³/ha/an de margines sur un sol cultivé avec l'olivier est normal en magnésie, élevé en phosphore, très élevé en potasse et variable en azote (Yaakoubi et al., 2009). Notre dispositif expérimental est basé sur une dose de 50 m³/ha/an. Qp" rgwv" gp" f²fwktg" swøwpg quantité substantielle de P issue des margines est venue enrichir les sols. On pourrait aussi expliquer cette amélioration de la biodisponibilité de P par nøcekfkhkecvkqp" des sols kpfwkv" rct" ngu" o ctikpgu" Egrgpcpv." nc" fko kpwvkqp" fg" r J" cwgpfw" pøc" pas été observée. Ceci trouve son explication dans le pouvoir tampon exercé par les carbonates de calcium dont la teneur était de (5,5%).

La plupart des études ont rapporté un épuisement du P disponible dans la rhizosphère du à son absorption par les racines des plantes pendant le cycle de culture (Hinsinger, 2001, 2011; Pan et al. 2008). Cet épuisement est principalement mis en évidence lorsque les cultures étaient eqpfwkvgu" gp" eqpfkvkqpu" eqpvt/zn²gu" C" nøkpxgtug" pqvgt" ²vwf" c" r nww/2v" o qpvt² swg" nc" tjk| qu j³tg" dg" nøgpug" o dng" fg" ewnwvtgu" uøguv" gptkejke en POlsen, Ptotal et Ptotal óPOlsen. Des études récentes, ont montrés des résultats assez proches (Devau et al., 2010, 2011b; Betencourt et al., 2012). Ces auteurs, ont montré une augmentation de la biodisponibilité du P dans la rhizosphère du blé dur en association avec le pois chiche. Cet enrichissement en P dans la rhizosphère des cultures associées est souvent expliqué par l'acidification de la rhizosphère des légumineuses (Betencourt et al., 2012). Dans notre cas, le pH de la rhizosphère du pois hqwttc i gt" pøc" rcu" o qpvt² føcekfkhkecvkqp" uk i pkhkecvkxg." qp" pg" rgwv" fqpe" cwtkdwtg" nøc o ²nkqtcvkqp" de la biodisponibilité de P dans la rhizosphère à une acidification de cette dernière. Les principales hypothèses pouvant expliquer cette concentration plus élevée de P dans la rhizosphère sont : i) un transfert de P par diffusion du sol global vers la rhizosphère (Jungk et Clasen, 1997), ii) une concentration plus élevée en phosphatase et phytases (Molliers et Pelerien, 1999) à proximité des racines, iii) une adsorption de P par les acides organiques de la rhizosphère. Il est intéressant de nqvgt" swg" eøguv" fcpu" nc" tjk| qu j³re de la légumineuse et du triticale cultivés en association et dans le cas du statut phosphaté du sol le plus pauvre (sol sans irrigation avec margine) que le gain en POlsen est le plus élevé. Les processus de la

rhizosphère mis en jeu pour améliorer la biodisponibilité de P seraient-ils exacerbés dans la rhizosphère de la légumineuse et $\text{fcpu}^{\text{wpg}} \text{ o qkftg}^{\text{ o guwtg}} \text{ fcpu}^{\text{ egng}} \text{ fw}^{\text{ vtkvkecng}} \text{ nqtuswøkn}^{\text{u}}$ sont cultivés en association ? En effet, la principale conclusion de ce travail est que $\text{nøcuuqekcvkqp}^{\text{ vtkvkecng}} \text{ cxge}^{\text{ ng}} \text{ rqku}^{\text{ cw i o gpvg}} \text{ eqpukf}^{\text{ 2 tcdng o gpv}} \text{ nc}^{\text{ dkq fkurqpdknk}^{\text{ 2}} \text{ fw}^{\text{ R}} \text{ fcpu}^{\text{ nc}}$ rhizosphère, en absence et en présence de margine.

L'objectif central de ce travail a été la compréhension des interactions entre espèces pour l'acquisition du phosphore (P) du sol dans le cas de l'association triticale/pois fourrager. Plus précisément, il s'agissait de l'impact de l'amendement en margines sur la disponibilité du phosphore assimilable et total de la rhizosphère de cette association.

Pour ce qui est de l'effet margine :

- Quel que soit le type de culture, l'apport de la dose de 50m³/ha de margine induit une augmentation du phosphore assimilable et phosphore total ainsi le phosphore total – phosphore Olsen du sol global et rhizosphérique.

Pour ce qui est de l'effet rhizosphérique :

- Quel que soit le type de culture, l'activité de la racine enrichisse le sol qui l'entoure en phosphore assimilable et le phosphore total ainsi le phosphore total – phosphore Olsen, comparativement au sol global.

Pour ce qui est de l'effet association triticale/ pois fourrager :

- En association et en présence de margine, la rhizosphère s'enrichit en phosphore Olsen et phosphore total ainsi le phosphore total – phosphore Olsen, et phosphore total ainsi le phosphore total- phosphore assimilable en association comparativement à la rhizosphère des monocultures triticale et pois fourrager.
- L'absence d'acidification de la rhizosphère indique que le pH n'est pas un facteur qui peut expliquer l'enrichissement de la rhizosphère en P Olsen de la rhizosphère des monocultures triticale et pois fourrager et de l'association. Il est à retenir que cet enrichissement en P dans la rhizosphère n'a pas été confirmé par l'analyse statistique.

En perspective :

- A fin de déterminer une relation de facilitation ou de compétition, il est nécessaire de doser le P et le N foliaire, et d'évaluer le rendement en matière sèche des différentes cultures.
- De plus, il est souhaitable, d'orienter les recherches vers d'autres types et modes d'associations, avec d'autres céréales comme le blé et l'orge et d'autres légumineuses à graines ou fourragères,
- Irriguer avec des doses de margine plus élevées, par exemple 100 voire 200 m³/ha.

Références bibliographiques

- 01).**Alkama, 2010: Alkama, Nora. Adaptation de la symbiose rhizobienne chez le haricot à la déficience en phosphore : détermination de la réponse de la plante en terme d'échange gazeux et de flux minéraux échanges avec la rhizosphère. Ecosystèmes et agronomie. El-Harach Alger. ENSA, 2010. Page 13-20
- 2).**Amrani, 2004: Amrani, Mohamed. Triticale [brochure]. El-Harrach ITGC. page 6.
- 3).**Anonyme (1): UNIFA.
- 4).**Anonyme (2): Guide de la fertilisation phosphatée. 2ème édition. ISMA LTD. p c4.
- 5).**Anonyme (3) : Du lien !, Mars 2016
- 6).**Anonyme (4) : Fao, 2016
- 7).** Beaudin et al, 2008 : EVC 019. Les sources les formes et la gestion du phosphore en milieu agricole [Fiche technique]. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. 2008. page 1
- 8).**Belaid, 2013 : Pratiques agricoles et fertilités des sols des grandes cultures en Algérie. P2
- 9).**Bensemmane, 2009 : L'oléiculture : Développons le secteur de l'Huile d'Olive en Algérie. [AgriNews]. 2010
- 10).** Betencourt, 2012 : Elodie, Betencourt. Interactions entre céréale et légumineuse en association et acquisition de phosphore du sol : processus rhizosphériques sous-jacents. Ecosystème. Montpellier Sup Agro, Ecole doctoral SIBAGH, 2012. Page 8-95
- 11).** Betencourt E, Duputel M, Colomb B, Desclaux D, Hinsinger P (2012) Intercropping promotes the ability of durum wheat and chickpea to increase rhizosphere phosphorus availability in a low P soil. *Soil Biol Biochem* 183-184.
- 12).** Bourbia, 2013: Bourbia, Sophia. Biodisponibilité du potassium dans la rhizosphère de *Olea europea* L. *Pédologie*. Tizi -ouzou. UMMTO .page 19
- 13).**Cassman, K.G. 1999. Ecological intensification of cereal production systems: yield potential, soil quality, and precision agriculture. *Proceeding of National Academy of Science of the USA* 96, 5952-5959.
- 14)** Clement et Mathieu, 2013: Clément, Mathieu ; Françoise, Pieltain. Analyse chimique des sols méthode choisies. Edt : TEC&DOC. Paris , 2013. P241
- 15).** Devau N, Le Cadre E, Hinsinger P, Gérard F (2010) A mechanistic model for understanding root-induced chemical changes controlling phosphorus availability. *Ann Bot* 105: 1187

Références bibliographiques

- 16). Esmail et al., 2014 : A.Esmail , H.Abed , M.Firdaous , N.Chahboun , Z. Mennane , E. Berny , M.Ouhssine (2014): Étude physico-chimique et microbiologique des margines de trois régions du Maroc(Ouazzane, Fès Boulman et Béni Mellal) [Physico-chemical and microbiological study of oil mill wastewater (OMW) from three different regions of Morocco (Ouazzane, Fes Boulman and Béni Mellal)]. page 121
- 17).Hallah, 2003 : Hallah, Aissam. Etude de la biodégradation des effluent des huileries (margines) et leur valorisation par production de l'enzyme tannasse. Microbiologie de l'environnement. Fès. UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH,2003. Page 14.
- 18). Harrison, A.F., 1987. Soil organic phosphorus: a review of world literature. CAB International Wallingford, UK.
- 19).Hinsinger, P., (2001). Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. *Plant Soil* 237(2): 173-195.
- 20). Hinsinger, 2012 : les cultures associées céréale – légumineuse en agriculture « bas intrants » dans le sud de la France.2012. Page. 17
- 21). Jungk A et Claassen N (1997) Ion diffusion in the soil–root system. *Adv Agron* 61: p 101-102
- 22). Latati, 2015 : Latati, Mourad. Adaptation de la symbiose légumineuse haricot-rhizobium à la déficience en phosphore. Biotechnologie végétale. Alger El- Harach, ENSA Harrach,2015.page 13-34
- 23).Pan XW, LI WB, Zhang QY, LI YH, LIU MH (2008) Assessment on Phosphorus efficiency Characteristics of Soybean Genotypes in phosphorus-deficient Soils. *Agric-Sci China* 7:p 958-969.
- 24).Pellerin et al., 2014 : S.Pellerin, F Bulter et C. Van Laethem,Coord. Fertilisation et environnement. Edt Quae. France, 2014. Page 20
- 25).Richardson, A. E., Lynch J. P., Ryan P. R., Delhaize E., Smith F. A., Smith S. E., Harvey P. R.,Ryan M. H., Veneklaas E. J., Lambers H., Oberson A., Culvenor R. A., Simpson R. J. 2011. Plant and microbial strategies to improve the phosphorus efficiency of agriculture. *Plant and Soil* 349: p122.
- 26).Shen, J., Yuan, L., Zhang, J., Li, H., Bai, Z., Chen, X., Zhang, W., Zhang, F., 2011. Phosphorus Dynamics: From Soil to Plant. *Plant Physiology* 156, p 997.
- 27). Sid Ali et Kefsi, 2016 : Effet de l'apport d'huilerie d'olives sur le potassium de la rhizosphère et la croissance d'une cultures associée *Triticum secale/ pisum sativum*. Tizi-Ouzou. UMMTO. P 26

Références bibliographiques

28). Tang, 2013 : Xiaoyan, Tang. Biomasse et communautés microbiennes en relation avec la disponibilité du phosphore dans la rhizosphère de cultures associées. Ecosystème et science agronomique. Montpellier, Centre international d'études supérieures en sciences agronomiques, 2013.page 27.

29). Thomson LM, Troeh FR (1973) Soils and Soil Fertility. Mc Graw-Hill, Montreal. 495p.

30).Vance CP (2001) Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition. Plant nutrition in a world of declining renewable resources. Plant Physiology 127 :391-392.

31). Yaakoubi A. Chahlaoui, M. Rahmani, M. Elyachioui et Y. Oulhote., 2009. Effet de l'épandage des margines sur la microflore du sol. Agrosolutions vol. 20 No 1 : p 36

Annexe 1 : analyse de variance du sol global du pois fourrager en monoculture sans et avec apport de margine

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	69,875	7	9,982				
VAR.FACTEUR 1	45,125	1	45,125	10,939	0,01628		
VAR.RESIDUELLE 1	24,75	6	4,125			2,031	17,47%

Annexe 2 : classement du P Olsen du sol global du pois fourrager en monoculture selon le test de NEWMAN et KEULS.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
2.0	AM	14	A	
1.0	SM	9,25		B

Annexe 3 : analyse de variance du sol global du triticales en monoculture sans et avec apport de margine

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	47,5	7	6,786				
VAR.FACTEUR 1	24,5	1	24,5	6,391	0,04395		
VAR.RESIDUELLE 1	23	6	3,833			1,958	19,10%

Annexe 4 : classement du P Olsen du sol global du triticales en monoculture selon le test de NEWMAN et KEULS.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
2.0	AM	12	A	
1.0	SM	8,5		B

Annexe 5 : analyse de variance du sol global du pois fourrager en monoculture sans et avec apport de margine.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	619,5	7	88,5				
VAR.FACTEUR 1	544,5	1	544,5	43,56	0,00078		
VAR.RESIDUELLE 1	75	6	12,5			3,536	5,87%

Annexe 6 : classement du P Olsen du sol global du Pois fourrager en monoculture selon le test de NEWMAN et KEULS.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
2.0	AM	68,5	A	
1.0	SM	52		B

Annexe 7 : analyse de variance du sol global du triticales en monoculture sans et avec apport de margine.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	310	7	44,286				
VAR.FACTEUR 1	200	1	200	10,909	0,01637		
VAR.RESIDUELLE 1	110	6	18,333			4,282	7,45%

Annexe 8 : classement du P Olsen du sol global du triticales en monoculture selon le test de NEWMAN et KEULS.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
2.0	AM	62,5	A	
1.0	SM	52,5		B

Annexe 9 : analyse de variance de la comparaison du sol global et rhizosphérique des cultures associées sans margine.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1433,667	11	130,333				
VAR.FACTEUR 1	1362,667	2	681,333	86,366	0		
VAR.RESIDUELLE 1	71	9	7,889			2,809	4,24%

Annexe 10 : classement du P total du sol global et rhizosphérique sans margine des cultures associées.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
2.0	RHP0	76,5	A		
3.0	RHT0	70,5		B	
1.0	G	51,5			C

Annexe 11 : analyse de variance de la comparaison du sol global et rhizosphérique des cultures associées avec margine.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	5001,667	11	454,697				
VAR.FACTEUR 1	4418,167	2	2209,083	34,073	0,00009		
VAR.RESIDUELLE 1	583,5	9	64,833			8,052	8,07%

Annexe 12 : classement du P total du sol global et rhizosphérique sans margine des cultures associées.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
2.0	RHP0	116,75	A	
3.0	RHT0	109,75	A	
1.0	G	73		B

Annexe 13 : analyse de variance du P total – P Olsen des sols globaux sans margine et avec margine, du pois fourrager en monoculture.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	387,875	7	55,411				
VAR.FACTEUR 1	276,125	1	276,125	14,826	0,0087		
VAR.RESIDUELLE 1	111,75	6	18,625			4,316	8,88%

Annexe 14 : classement du P total- P Olsen des sols globaux sans et avec apport de margine du pois fourrager en monoculture, selon le test de NEWMAN et KEULS.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
2.0	AM	54,5	A	
1.0	SM	42,75		B

Annexe 15 : analyse de variance du P total – P Olsen des sols globaux sans margine et avec margine, du triticales en monoculture.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	215,5	7	30,786				
VAR.FACTEUR 1	84,5	1	84,5	3,87	0,09491		
VAR.RESIDUELLE 1	131	6	21,833			4,673	9,89%

Annexe 16: analyse de variance de la comparaison du sol global et rhizosphérique des cultures associées avec margine.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	4646,917	11	422,447				
VAR.FACTEUR 1	3993,167	2	1996,583	27,486	0,0002		
VAR.RESIDUELLE 1	653,75	9	72,639			8,523	10,40%

Annexe 17 : classement du P total – P Olsen du sol global et rhizosphérique avec margine des cultures associées.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
2.0	RHP0	97	A	
3.0	RHT0	92,5	A	
1.0	G	56,25		B

Annexe 18: analyse de variance de la comparaison du sol global et rhizosphérique des cultures associées sans margine.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	890,917	11	80,992				
VAR.FACTEUR 1	773,167	2	386,583	29,548	0,00015		
VAR.RESIDUELLE 1	117,75	9	13,083			3,617	6,75%

Annexe 19 : classement du P total – P Olsen du sol global et rhizosphérique sans margine des cultures associées.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
2.0	RHP0	61,25	A	
3.0	RHT0	57	A	
1.0	G	42,5		B

Résumé

Les margines sont le sous-produit liquide obtenu à partir de l'extraction de l'huile d'olive. Les volumes importants générés, le pH acide, les concentrations élevées de matières organiques et de phénols rendent ce matériau difficile à purifier. En revanche, ces effluents sont riches en nutriments. Une solution serait de les épandre sur les sols. Afin de valoriser le phosphore des margines, une étude en conditions contrôlées sur leur effet, sans prétraitement, sur la croissance et la rhizosphère d'une culture associée triticale/pois fourrager a été menée. La dose utilisée était de 50m³/ha, dose autorisée par la loi sous climat méditerranéen. Les margines ont augmenté significativement ($p \leq 0.01$) la teneur en phosphore Olsen, en phosphore total et en phosphore total – phosphore Olsen aussi bien du sol global et rhizosphérique de la culture associée que celle des monocultures triticale et pois fourrager. Pour ce qui est de l'effet rhizosphérique quel que soit le type de culture, l'activité de la racine sol qui l'entoure en phosphore. Pour ce qui est de l'effet association triticale/ pois fourrager en association et en présence de margine la rhizosphère s'enrichit en phosphore Olsen, en phosphore total et en phosphore total – phosphore Olsen. L'effet rhizosphérique se traduit par un gain en phosphore plus important dans la rhizosphère de la culture associée comparativement à celle des monocultures, en absence de margine, donc dans le cas de la culture à statut phosphaté le plus bas. La valorisation des margines par épandage sur culture associée fourragère serait une solution agro écologique durable aux nuisances environnementales causées par le rejet incontrôlé des margines dans les oueds.

Mots clés : Margines, phosphore, rhizosphère, association triticale/pois, valorisation.

Abstract :

Margins are the liquid by-product obtained from the extraction of olive oil. The large volumes generated, the acid pH, the high concentrations of organic materials and phenols make this material difficult to purify. On the other hand, these effluents are rich in phosphorus. One solution would be to apply them on the soil. In order to evaluate the phosphorus of margins, a study under controlled conditions on their effect, without pretreatment, on the growth and rhizosphere of a triticale / forage pea crop was carried out. The dose used was 50m³ / ha, a dose authorized by the law under Mediterranean climate. The margins increased significantly ($p \leq 0.05$) the phosphorus content that can be assimilated from both the global and rhizospheric soil of the associated crop, as well as that of triticale monocultures and forage peas. However, the phosphorus increase was significantly (p) higher for monocultures. The rhizospheric effect results in a greater phosphorus enrichment in the rhizosphere of the associated crop compared to that of the monocultures. The valorization of margins by spreading on fodder crops would be a sustainable agro-ecological solution to the environmental nuisances caused by the uncontrolled release of margins in the wadis.