

Etude comparative des effets de trois techniques mécanisées d'installation de l'orge irriguée en Tunisie centrale

Hassouna Bahrouni⁽¹⁾, Elies Hamza⁽²⁾ et Mohamed Ali Ben Abdallah⁽¹⁾

⁽¹⁾*Institut National de Recherches en Génie Rural, Eaux et Forêts – Rue Hédi
Karray-2080 Ariana, Tunisie*

⁽²⁾*Institut National Agronomique de Tunisie – 43 Avenue Charles Nicolle, Tunis
1082, Tunisie*

المخلص – دراسة مقارنة لتأثيرات ثلاثة تقنيات ممكنة لتركيز زراعة الشعير المروي بمنطقة الوسط التونسي. أنجزت هذه الدراسة الحقلية بالمنطقة السقوية الخاصة بهندي الزيتونة (معتمدية السبيخة – ولاية القيروان) على الشعير المروي صنف ريجان، وذلك باستعمال 3 تقنيات لتحضير الأرض: (T1) الاستعمال المتقاطع لممرات آلات الشيز لمقارنة بتقنيتين متداولتين بالمنطقة، هما (TC1) المرتكزة على استعمال المحراث القلاب ثلاثي السكك و (TC2) المعتمدة على آلات السحق القرصية ذات المحورين 20/10. تبين القياسات المنجزة أن متوسط الرطوبة النسبية على مستوى 30 سم الأولى للتربة كانت مرتفعة نسبيا لـ (T1) و (TC1) مقارنة بـ (TC2). كما تميزت قياسات الرطوبة النسبية وعناصر مقاومة النفاذ في طبقة التربة المتواجدة تحت عمق الـ 30 سم لصالح (T1) مقارنة بكل من (TC1) و (TC2). وتعود هذه الميزة لخاصيات أسنان الشيزل التي تحدث تشققات في قاع الحراثة التقليدية، مما يحسن أيضا في رشح المياه في العمق وتسهيل امتداد الجذور. لم تسجل عند إنبات الشعير فروقات تذكر بين التقنيات الثلاثة وذلك على عكس الفترات الموالية لمرحلة التسبيل التي كانت أفضل في (T1) من (TC1) مقارنة بـ (TC2). حاجيات المكننة في الهكتار بالنسبة لـ (T1) كانت في حدود 420 دق أي ما يمثل زيادة بـ 15% مقارنة بـ (TC1) و 127% مقارنة بـ (TC2). المردود من الحبوب في (T1) كان أعلى من (TC1) و (TC2) مما مكن من تغطية تكلفة مصاريف المكننة بفارق كبير.

شيزل / محراث قلاب ثلاثي السكك / آلة سحق قرصية / شعير مروي / مكننة / مردود.

Abstract – comparative study of three installation mechanized techniques with irrigated barley in Tunisia center area. This study was carried out in the private irrigated area of Hendi Zitoun (Sebika/Kairouan) with the irrigated barley (*Rihane* variety), to compare the effects of the Chisel itinerary based on crossed passages of this tillage tool (T1), with two itineraries conventionally used in the area of this study, (TC1) based on the use of a mould-plough and (TC2) using only disc harrows type Off-set 10/20. The measures show that relative humidity averages at the toper 30 centimeters of soil is higher in T1 and TC1 than in TC2. The hydric and penetrometric profiles in T1 is better than TC1 and TC2 below the first 30 centimeters, due to the action of the teeth of chisel which breaks partially the

plowing-crust, favorise une meilleure infiltration de l'eau et un bon développement des racines de blé. Au stade de levée, aucune différence significative entre les trois traitements n'a été trouvée, contrairement au stade post-levée qui était nettement supérieur en T1 par rapport à TC1 et TC2 respectivement. Le mécanisme requis par hectare en T1 était de 420 min, supérieur de 15 % et 127 % comparé à TC1 et TC2 respectivement. Le rendement en grains en T1 était nettement supérieur à TC1 et TC2, compensant largement les charges de mécanisation.

Chisel / mould-plough / offset / irrigated barley / mechanization / yield.

Résumé - Cette étude a été réalisée dans le périmètre privé irrigué de Hendi Zitoun (Sebika-Kairouan) avec une variété d'orge irriguée (*Rihane*), afin de comparer les effets de l'utilisation du chisel en deux passages croisés (T1) avec deux itinéraires classiques utilisés dans la zone : TC1 basé sur l'utilisation d'une charrue tri-socs et TC2 employant uniquement les pulvérisateurs à disques type Off-set 10/20. Les mesures effectuées montrent que l'humidité relative moyenne au niveau des 30 premiers centimètres du sol en T1 et TC1 était supérieure à celle de TC2. Les profils hydrique et pénetrométrique, en dessous des 30 premiers centimètres, étaient meilleurs sous le traitement T1 que ceux de TC1 et TC2 ; et ceci est dû à l'action des dents de chisel qui éclatent partiellement les semelles de labour, favorisant ainsi une meilleure infiltration de l'eau et un meilleur développement du système racinaire de l'orge. Au stade levée, il n'y a pas de différence significative, en terme d'humidité relative du sol, entre les trois traitements, contrairement aux stades post-épiage qui étaient nettement meilleurs respectivement en T1 puis en TC1 comparé à TC2. Les besoins horaires moyens de mécanisation par hectare en T1 étaient de 420 min, soit 15 % supérieurs à TC1 et 127 % par rapport à TC2. Le rendement en grains en T1, qui est significativement supérieur aux traitements TC1 et TC2, compense largement les charges horaires de mécanisation.

Chisel / tri-socs, off-set / orge irriguée / mécanisation / rendement.

1. INTRODUCTION

Les cultures céréalières dans les périmètres irrigués du centre de la Tunisie occupent une place importante avec environ 34000 ha (D.G.E.D.A., 2006). Selon cette même source, avec une superficie de 14500 ha, la culture de l'orge représente près de 44 % des superficies totales destinées aux céréales irriguées dans cette zone. Selon les statistiques de la Direction Générale de la Production Agricole de 2014, bien que ces superficies aient légèrement augmenté, ce pourcentage est grosso modo resté le même.

Plusieurs variétés d'orge du type 6 rangs sont cultivées dans cette zone (Deghaisset *al.*, 2007 ; Garbi et Felah, 2013) et dont le rendement moyen en

irrigué est inférieur à 25 qx/ha (Bachta, 2011) ; un rendement qui reste loin du potentiel de production des variétés nouvellement introduites dans la zone (Garbi et Felah, 2013). Une analyse faite par l'équipe de chercheurs à l'INRGREF et l'INAT (Ben Abdallah *et al.*, 2007) attribuent ce faible rendement à plus facteurs techniques et agronomiques, dont on cite les itinéraires et les outils agricoles d'installation de la dite culture. En effet, les itinéraires techniques de travail du sol sont souvent tributaires des conditions pédoclimatiques au moment de l'installation de la culture. Ces itinéraires impliquent, par ailleurs, un choix judicieux des outils à utiliser pour améliorer la structure du sol et assurer une préparation du lit de semences qui soit favorable à la réception de la graine (Mansouriet *al.*, 1998; Bahrouni, 1999).

Pour une qualité germinative donnée et un état donné du lit de semences, on cherche aussi à avoir une bonne qualité de placement, en profondeur et par unité de surface, des graines dans leur lit. Généralement, ces conditions conduisent à une qualité de levée élevée et la plus uniforme possible (Ben Abdallah, 2007). Il est à signaler que l'ensemble des paramètres qui interviennent dans les transferts de masse et de chaleur dans le sol dépendent de l'état structural du sol, que ce soient les paramètres «capacitifs» qui représentent les capacités de stockage de l'eau, de la chaleur et de l'oxygène, où les paramètres «conductifs» qui représentent la facilité avec laquelle ils circulent dans le sol (Richard et Boiffin, 1990). Selon ces auteurs, l'état structural conditionne le contact entre la semence et les fragments terreux, donc il intervient dans les vitesses d'absorption de l'eau et de l'oxygène. Ainsi les profils de température, d'humidité et de concentration en oxygène dans le lit de semences évoluent en fonction des conditions climatiques et de l'état structural du lit de semences (Richard et Durr, 1997). Selon Ben Abdallah *et al.* (2007), certains éléments structuraux, liés à l'état initial du lit de semences ou à sa dégradation ultérieure, peuvent jouer un rôle d'obstacle mécanique à la levée. Bouaziz *et al.* (1990) signalent que les agrégats de tailles supérieures à 30 mm ont un effet négatif sur le taux d'émergence des plantules de blé. Pour un réglage donné du semoir mécanique, l'état structural du lit de semences peut influencer sur la valeur et l'homogénéité de la profondeur de semis (Ben Abdallah, 2007). Cet état joue donc sur le positionnement des semences par rapport aux profils de température, de teneurs en eau et en oxygène et à la présence éventuelle de mottes (Richard et Boiffin, 1990 ; Ozmerzi *et al.*, 2002).

En Tunisie centrale, les céréaliculteurs emploient différents itinéraires classiques de travail du sol afin d'améliorer la structure du sol, favoriser un émiettement optimal du lit de semences, un enfouissement des plantes adventices et des résidus des récoltes précédentes. La plus part de ces itinéraires se basent sur des labours profonds à l'aide de charrues à socs ou à

disques suivis de façons superficielles. Les techniques simplifiées, basées uniquement sur les recroisements à l'aide d'outils à disques sont aussi courantes surtout pendant les années à faibles pluviométries automnales ou les années qui suivent celles des têtes d'assolements. Ce dernier choix reflète le cas de l'orge dans la plus part des périmètres irrigués de la Tunisie centrale. En effet, les façons superficielles de travail du sol dans le cas de la culture de l'orge dans ces périmètres traduisent la place secondaire qu'occupe cette culture dans les assolements biennaux ou triennaux adoptés dans ladite zone. Selon Ben Abdallah *et al.* (2007), certains itinéraires classiques adoptés dans la zone d'étude ne permettent pas toujours de satisfaire à la fois les exigences agronomiques et l'objectif de réduire les besoins horaires de travail par hectare ainsi que la réduction de la consommation énergétique.

Les passages répétés de l'ensemble tracteur-outil classique sur une même parcelle pendant plusieurs campagnes culturales sont identifiés comme cause principale de compactage du sol en profondeurs donnant lieu à une semelle de labour (Voorhees, 1977 ; Gaultney *et al.*, 1982 ; Vitlox, 1984, Ben Abdallah *et al.*, 2007 ; Jemai *et al.*, 2012). Ces problèmes affectent le développement et le fonctionnement du système racinaire, ce qui se répercute sur le développement de la culture (Souty 1987 et Ouézou, 1999). Les outils à dents, tel que les décompacteurs et les chisels sont peu utilisés dans les exploitations céréalières du centre de la Tunisie, ce qui explique en partie la forte présence de semelles de labours dans les parcelles de céréales de la zone. Dans le cas précis de la culture de l'orge, le problème est encore plus critique, du fait que les céréaliculteurs de la zone ont tendance à se limiter aux outils de pseudo-labour favorisant ainsi l'usage des pulvérisateurs à disques travaillant à des profondeurs inférieures à 20 cm.

L'objectif de cette étude est d'évaluer les apports technico-agronomiques d'un itinéraire alternatif d'installation de l'orge irriguée en Tunisie centrale, basé sur les passages croisés d'un chisel. Pour caractériser ces apports, le dit itinéraire a été comparé à deux itinéraires conventionnels utilisés au niveau des exploitations agricoles dans un périmètre irrigué à Sebika-Kairouan.

La comparaison porte sur les paramètres du sol, du développement de la culture et sur les paramètres horaires et énergétiques des outils mécanisés employés aux niveaux des trois itinéraires.

2. MATERIEL ET METHODES

Les essais ont été réalisés durant la campagne céréalière 2011/2012 à la station expérimentale de Hendi Zitoun – Sebika (G. Kairouan), située dans l'étage bioclimatique aride supérieur ayant une moyenne pluviométrique

annuelle de 300 mm, bien que durant la campagne 2011-2012 on a enregistré uniquement 256 mm, répartie comme suit (Tableau 1) :

Tableau 1 : Pluviométrie mensuelle enregistrée durant la campagne céréalière 2011-2012 à la station expérimentale de Hendi Zitoun – Sebika (G. Kairouan).

Pluviométrie (mm)									
Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin
0	36	107	16	24	18	29	22	0	0

La parcelle est caractérisée par un sol de texture argileuse. Au moment des labours primaires en septembre 2011, l'état initial de la parcelle, au niveau des 45 premiers centimètres du sol, a été caractérisé par une humidité pondérale moyenne variant de 9,7 à 12,8 % (Figure 1) et par une résistance à la pénétration variant de 2,6 à 4,4 MPa (Figure 2).

Dans ce travail, on a utilisé un dispositif expérimental composé de trois blocs aléatoires et comprenant trois itinéraires techniques: Chaque bloc a une longueur de 200 mètres et une largeur de 60 mètres, soit une superficie totale de 1,2 Ha par bloc.

- Itinéraire Chisel (*T1*) : il s'agit d'un itinéraire technique alternatif par rapport à ceux conventionnellement utilisés dans la zone d'étude. Cet itinéraire se base sur l'utilisation de deux passages croisés de chisel à 5 dents flexibles (étançons à lame ressort + ressort de compression) à socs scarificateurs, deux passages croisés de pulvérisateur à disques 10/20, un passage de herse à dents rigides, un passage de semoir en ligne classique de 3 mètres de largeur de travail.

Le dégagement sous bâti du chisel est de 65 cm, sa profondeur moyenne de travail est de 30-35 cm.

- Itinéraire classique (*TC1*) : Il est basé sur l'utilisation d'un passage de charrue trisocs à une profondeur de travail de 25-30 cm, trois passages de pulvérisateur à disques 10/20, un passage d'une herse à dents rigides, un passage de semoir en ligne classique de 3 mètres de largeur de travail.

- Itinéraire classique (*TC2*) : cet itinéraire simplifié repose sur l'utilisation de trois passages de pulvérisateur à disques 10/20 à une profondeur de travail de 15-18 cm, un passage d'une herse à dents rigides, un passage de semoir en ligne classique de 3 mètres de largeur de travail. Les labours ont été réalisés à l'aide d'un tracteur de 100 cv DIN, tandis que les pseudo-labours et le semis ont été réalisés à l'aide d'un tracteur de 70 cv DIN.

C'est en fonction de l'état hydrique du sol, les conditions climatiques et le stade végétatif de la culture, que l'ensemble des parcelles d'essai ont bénéficié de cinq irrigations d'appoint réparties comme suit (Tableau 2):

Tableau 2 : Quantités d'eau apportées par les irrigations d'appoint.

Période	7 jours après semis	stade 3-4 feuilles	stade tallage	stade épiaison	Stade remplissage des grains
Irrigation (mm)	30	30	40	40	40

Les qualités de travail de chaque itinéraire de préparation du sol ont été évaluées moyennant les variables suivantes et à raison de trois répétitions par traitement :

- La teneur en eau (w en % massique) : elle a été mesurée par gravimétrie avant les labours et à la date de semis de l'orge. Les mesures sont faites jusqu'à 60 cm de profondeur, par couche de 15 cm (0-15 cm, 15-30 cm, 30-45 cm et 45-60 cm). Les valeurs présentées dans ce travail ont été réalisées à une semaine avant la 3^{ème} irrigation (Fig. 1a), la 4^{ème} irrigation (Fig. 1b) et la cinquième irrigation (Figure 1c).

- La résistance à la pénétration (RP) : elle est mesurée en MPa au niveau des 45 premiers centimètres de profondeur à l'aide d'un pénétromètre électronique, réglé à un pas de mesure de 5 cm. Les mesures présentées dans ce travail ont été réalisées à une semaine avant la 3^{ème} irrigation (Fig. 2). Pour les trois traitements on a visé un même peuplement objectif à la sortie d'hiver de 260 plantes/m². Pour cela on a utilisé le même semoir en ligne avec la même qualité de semences d'orge *Rihane* autoproduite à la station et caractérisées par un poids de mille grains de 39 g; une faculté germinative de 80 %, autres pertes probables de 5% dues à la qualité de distribution du semoir, taux de casse interne, qualité de placement des grains, qualité du lit de semis, etc. Le semis a été réalisé le 10 octobre à la dose de 120 kg/ha, en lignes espacées de 15 cm et à une profondeur moyenne de semis de 4-5 cm pour les trois traitements. Cinq semaines après le semis, on a déterminé le nombre de plantes levées au m², à raison de trois répétitions par traitement. Les trois itinéraires ont reçu chacun 100 kg/ha de DAP, une semaine avant le semis et deux apports d'ammonite, de 100 kg/ha chacun, donnés respectivement au début tallage et au début épiaison.

- Densité des plantes adventices : le comptage au m² des plantes adventices s'est effectué au stade 3-4 feuilles de l'orge. A ce stade, un désherbant (*Illoxan : Diclofop-Méthyl*) a été appliqué, à la dose de 3 L/ha dans une bouillie 300 L/ha d'eau pour chaque itinéraire. Il est à signaler qu'un traitement fongicide contre l'oïdium a été appliqué au niveau des différentes parcelles (*Opus : Epoxiconazole*) à une dose de 1 L/ha et au même volume de bouillie de 300 L/ha.
- Rendement final en grains : trois échantillons de 1m² chacun ont été utilisés pour déterminer le nombre d'épis /m², nombre de grains par épis (à partir de 10 épis), poids de mille grains (g), poids total des grains (g/m²).
- Rendement horaire (min/ha): Du fait que ce travail s'intéresse à des différences en besoins horaires de mécanisation dues à des techniques d'installation de l'orge, le rendement horaire des travaux mécanisés est déterminé par simple chronométrage uniquement des opérations de labour, pseudo-labour, hersage et semis.

3. RESULTATS

Les profils hydriques une semaine avant la 3^{ème} irrigation (Figure 1a), correspondant au stade tallage de l'orge, montrent des valeurs d'humidité relative variant de 16,4% à 20,3% au niveau des 60 premiers centimètres du sol pour le traitement T1. Les valeurs d'humidité pondérale pour le traitement TC1 ont varié de 12,7% à 17,7% pour le même horizon du sol. Les valeurs d'humidité au niveau des 30 premiers centimètres n'ont pas varié significativement, tandis qu'on constate une différence claire entre ces deux traitements au niveau de la couche du sol située en dessous des 30 cm de profondeur. Pour le traitement TC2, basé sur l'utilisation de pulvérisateur à disque, l'humidité du sol a varié de 11,8% à 16,4% avec une moyenne de 14,1% pour les 60 premiers centimètres du sol. On constate une différence significative entre TC2 et les deux autres traitements T1 et TC1 au niveau de la couche superficielle située à moins de 30 cm de profondeur. En dessous de cette couche, TC1 et TC2 présentent des valeurs d'humidité relative inférieures à celles du traitement T1. L'évolution du profil hydrique une semaine avant la 4^{ème} irrigation (Figure 1b), stade épiaison, est presque similaire à celle de la phase tallage, avec un resserrement de l'écart entre les trois traitements au niveau des 30 premiers centimètres du sol. En dessous de cette couche, l'humidité du sol pour le traitement T1 reste relativement supérieure à celle de TC1 et TC2. Au moment du remplissage des grains (Figure 1c), on n'a pas observé de différences entre les trois traitements au niveau de la couche superficielle du sol. En dessous de ladite couche, la différence a été en faveur du traitement T1.

Quant au profil pénétrométrique du sol (Figure 2) au moment du tallage de l'orge, les valeurs moyennes de résistance du sol à la pénétration (RP) varient de 0,2 à 3,2 MPa au niveau des 45 premiers centimètres pour le traitement T1 et de 0,5 à 4,3 MPa pour le traitement TC1, tandis que les valeurs de RP pour la même couche du sol au niveau du traitement TC2 ont varié de 1,2 à 4,2 MPa.

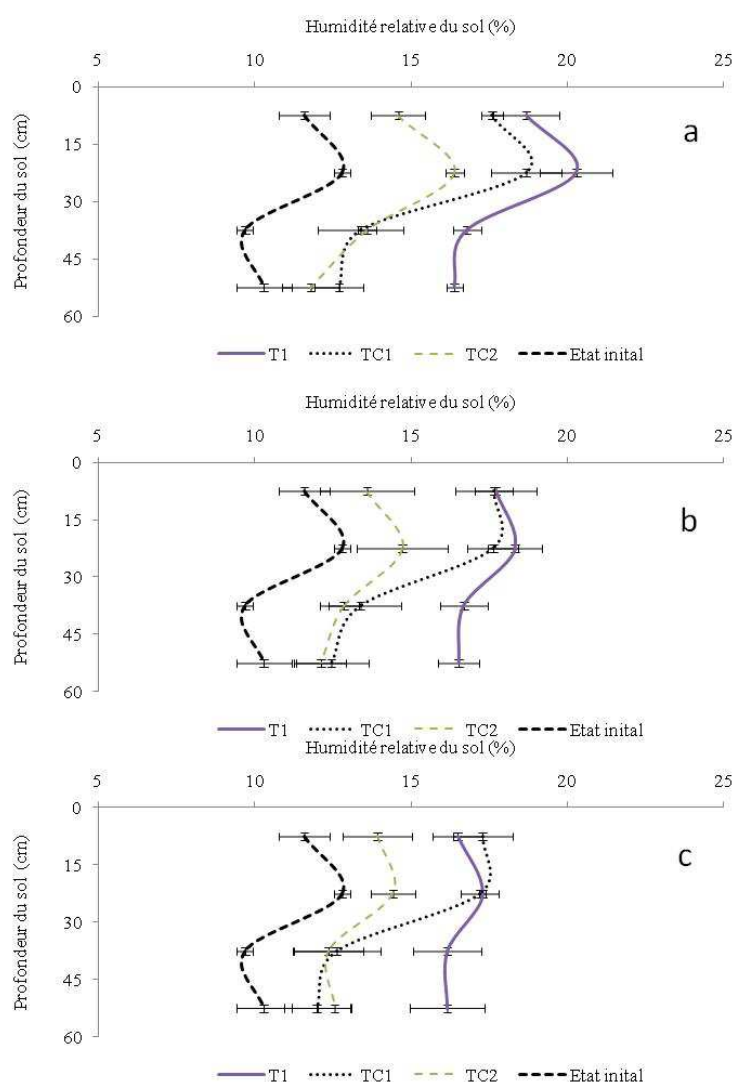


Figure 1. Evolution du profil hydrique du sol, une semaine avant la 3^{ème} irrigation (a), 4^{ème} irrigation (b) et 5^{ème} irrigation (c).

Les valeurs moyennes de RP au niveau des 20 premiers centimètres du sol ne présentent pas de différences significatives entre les trois traitements. En effet, les différences de RP apparaissent clairement à partir des 30 cm de profondeur en faveur du traitement T1. On note également des différences de RP entre le traitement TC1 et TC2 au niveau de la couche du sol comprise entre 20-30 cm. L'effet semelle de labour apparaît visiblement au niveau des traitements TC1 et TC2 à partir de 30 cm de profondeur avec des valeurs de RP qui avoisinent les 4 MPa. Comparées aux valeurs RP de l'état initial, le traitement T1 présente des valeurs qui montrent clairement l'éclatement de la semelle de labour.

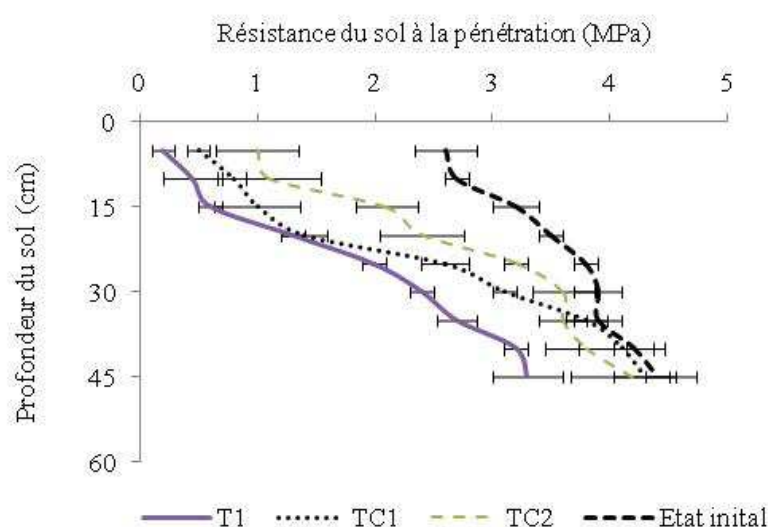


Figure 2. Evolution du profil pénétrométrique du sol au stade tallage

Taux de levée et densité de plantes adventices

Quant aux effets des trois traitements testés sur la densité de plantation, les résultats trouvés, ne montrent pas de différences significatives de levée. En effet, la densité moyenne de plantation trouvée dans ces traitements avoisine les 260 plantes/m², sachant qu'on a majoré la dose de semis de 25 % tenant compte de la faculté germinative du lot de semences ainsi que les autres pertes probables. Il est à noter qu'au stade 4 feuilles d'orge, la densité de plantes adventices (Tableau 3) était légèrement supérieure au niveau du traitement T1, comparé aux deux autres traitements TC1 et TC2.

Tableau 3 : Densité des plantes adventices dans les trois traitements

Techniques		T1	TC1	TC2
Densité des plantes adventices / m ²	Moyenne	13	6	9
	Ecart Type	3.5	1.0	3.0

Rendement grainier et ses composantes

Quant aux composantes du rendement en grains, les valeurs indiquées au niveau du tableau 4 montrent que le nombre d'épis/m² en T1 et TC1 est respectivement de 392 et de 378 significativement supérieur à celui de TC2 (349 épis/m²). Le nombre de grains/épi est significativement supérieur en T1 que TC1 par rapport à TC. Le traitement TC2 a eu le nombre le plus faible de grains/épi comparé à TC1 ayant 40 grains/épi et T1 ayant 44 grains/épi. Le poids de mille grains (PMG), ne révèle pas de différences significatives entre les traitements avec un PMG moyen de 38 g. La résultante des composantes de rendement en grains, montre une supériorité significative du rendement en T1 avec 63 qx/ha suivi de TC1 avec 57 qx/ha puis TC2 avec 44 qx/ha.

Tableau 4 : Rendement en grains et ses composantes dans les trois traitements.

Techniques		T1	TC1	TC2
Nombre d'épis/m ²	Moyenne	392	378	349
	Ecart Type	8,7	7,5	27,4
Nombre de grains/épis	Moyenne	44	40	34
	Ecart Type	3,6	4,6	5,2
Poids de mille grains (g)	Moyenne	38,5	38.0	37.2
	Ecart Type	1,7	2,1	2,1
Rendement (qx/ha)	Moyenne	63,05	57,25	44,05
	Ecart Type	3,4	2,6	3.4

Les valeurs des besoins horaires de mécanisation agricole employée au niveau des phases d'installation de l'orge dans les trois traitements (Tableau 3), montrent des différences significatives. En effet, le traitement T1 a nécessité 420 min/ha comparé à TC1 avec 365 min/ha et TC2 avec seulement 185 min/ha. Les valeurs indiquées concernent uniquement les besoins horaires cumulés de labour, pseudo-labour, hersage et semis mécanique en ligne. Aucune différence n'a été enregistrée au niveau du temps de mécanisation pour les opérations d'épandage d'engrais, désherbage et

traitement fongicide (C'est évident, puisque vous avez la même superficie et les mêmes opérations !).

Tableau 3 : Besoins horaires des travaux mécanisés d'installation de l'orge irriguée dans les trois traitements

Techniques		T1	TC1	TC2
Besoin horaire ^(*)	Moyenne	420	365	185
(min/ha)	Ecart Type	15	23	10

^(*) Labour, pseudo-labour, semis et hersage.

4. DISCUSSION

L'absence de différences de résistance à la pénétration du sol au niveau de la couche superficielle du sol revient essentiellement au mode opératoire des outils de pseudo-labour employés dans les trois traitements d'installation de l'orge. Ces outils ayant comme l'un des principaux objectifs l'ameublissement de cette couche afin de créer un lit de semences ayant un indice de finesse approprié (Ben Abdallah et al, 2007). Un lit de semences acceptable doit avoir un maximum d'agrégats de tailles inférieures ou égales à la taille moyenne des semences, ce qui est le cas dans notre étude. En effet, on a évité les passages excessifs des outils à disques, afin de limiter la pulvérisation de la couche superficielle au niveau des 10 premiers centimètres du sol. Les agriculteurs de la zone ont tendance à trop pulvériser cette couche, ce qui favorise dans les sols irrigués et argileux, l'apparition de croûtes de battance qui entravent la levée des plantes (Barthélemy *et al.*, 1987; Cedra, 1993). Ce comportement de la part de cette catégorie de céréaliculteurs favorise aussi plus de passages des pneumatiques du tracteur agricole, engendrant ainsi des risques de compactage du sol en profondeur (Vitlox, 1984) et aussi une surconsommation de carburant à l'hectare. Au moment de l'intervention des outils de pseudo-labour, les humidités relativement élevées au niveau de la couche superficielle du sol, ne favorisent pas un émiettement optimal du sol (Cedra, 1993; Ben Abdallah et al, 2007). Les différences de RP en profondeur du sol entre le traitement T1 et les deux autres traitements TC1 et TC2 s'expliquent essentiellement par la bonne aptitude à la pénétration dans le sol du chisel et le mode d'action de ses dents flexibles qui ont permis un éclatement partiel de la semelle de labour, permettant ainsi d'améliorer l'infiltration de l'eau (Cedra, 1993; Ben Abdallah, 2007).

L'aptitude à la pénétration des dents de chisel dans le sol varie en fonction de l'état du sol, le poids par dent et l'écartement entre les dents (Barthélemy *et al.*, 1987 et Cedra, 1993). Elle dépend également du dégagement sous bâti, du type de soc et de l'angle d'entrure des dents. Plus l'angle d'entrure est faible et plus l'aptitude à la pénétration des dents de chisel est importante (Oestges, 1994). Une humidité élevée du sol ne permet pas d'avoir un

éclatement optimal en profondeur, ce qui réduit les avantages du chiselage (Cedra, 199, Ben Abdallah *et al*, 2007). Ces aspects ont été respectés dans notre étude, ce qui a permis d'avoir une meilleure efficacité d'utilisation du chiselage en passages croisés. Dans le cas de TC1 et TC2, les valeurs de RP supérieures à 3,5 MPa témoignent de l'existence d'une semelle de labour qui limite relativement l'infiltration de l'eau et le développement normal du système racinaire de l'orge (Voorhees 1977, Souty 1987).

Une semelle de labour partiellement éclatée, dans le cas du traitement T1, a favorisé une meilleure infiltration de l'eau, expliquant ainsi des profils hydriques relativement meilleurs en T1 qu'en TC1 et TC2. Ces profils hydriques en T1, associés à un éclatement partiel de la semelle de labour favorisent, dans un stade avancé, un meilleur développement du système racinaire de l'orge et un accès aux éléments nutritifs disponibles au sol en profondeur (Ben Abdallah *et al*, 2007). Quant aux plantes adventices, elles ont fait apparition plutôt dans le cas du traitement T1 et TC2. La densité des plantes adventices a été légèrement supérieure pour l'itinéraire T1, comparé aux deux autres traitements (Tableau 3). Cette situation n'a pas engendré de répercussions ni sur la date, ni sur le mode de désherbage chimique dans les trois traitements. En effet, le même désherbant a été utilisé pour les trois traitements à la même date et a permis d'avoir la même efficacité de contrôle des plantes adventices.

Les composantes de rendement en grains en T1, trouvent leurs explication dans les profils pénétrométriques et hydriques favorables à un meilleur développement racinaire et une meilleure disponibilité hydrique « relative » qui a favorisé aux moments opportuns (Meynard et sebillote, 1994) une épiaison dans T1 avec 392 épis/m² et une meilleure fertilité des épis avec 44 grains/épis en T1 contre 378 épis/m² et 40 grains/épis dans TC1.

Le bilan hydrique et la structure du sol du traitement TC2, réduisent le développement racinaire (Souty, 1987, Jemai *et al*, 2012) et affectent négativement à des stades donnés, certaines composantes du rendement (Simon *et al*, 1989, Roullier et Barbarit, 2013), tels que le nombre d'épis/m²(349) et le nombre de grains/épi (34) inférieurs aux deux autres traitements. L'ensemble des paramètres mécaniques et hydriques du sol qui sont plus favorables en T1 qu'en TC1 et moins en TC2, ont amélioré les composantes du rendement en T1 (Simon *et al*, 1989 ; Meynard et Sebillote, 1994). Ainsi, le rendement en T1 dépasse celui de TC1 et à TC2 respectivement de 5,8 qx/ha et de 19 qx/ha.

Les besoins horaires relativement supérieurs en T1 (420 min/ha), s'expliquent par le premier passage du chisel qui a exigé près de 150 min/ha, vue l'état initial du sol non travaillé et caractérisé par une RP moyenne variant de 2,6 à 4 MPa au niveau des 45 premiers centimètres du sol. Le deuxième passage croisé du chisel a exigé moins de 100 min/ha grâce à un

état du sol plus favorable avec des valeurs de RP variant de 1 à 2,7 MPa au niveau de la même couche du sol. Le reste des passages tracteur-outil (2 passages d'Off-Set + herse + semoir en ligne) ont demandé près de 170 min/ha. Cette deuxième série de passages tracteur-outil n'a pas différé des deux traitements TC1 et TC2. Dans les conditions de l'étude, l'état du sol au moment du chiselage a été relativement favorable à un bon éclatement du sol en profondeur, sachant que l'humidité relative du sol était inférieure à 12 % au niveau des 45 premiers centimètres du sol au moment des deux passages du chisel. Il est à signaler que dans d'autres conditions, de résistances spécifiques élevées du sol, les rendements horaires de l'itinéraire T1 évolueraient à la hausse. Ce constat reste aussi valable pour les deux autres itinéraires TC1 et TC2 employant les charrues et les pulvérisateurs à disques (Cedra, 1993, Ben Abdallah *et al*, 2007). Tenant compte des charges horaires de mécanisation lors de l'installation de l'orge irriguée et du rendement en grains en T1, on se retrouve dans une situation économique plus rentable pour l'exploitant dans ce traitement que dans les deux autres cas de TC1 et TC2. En effet, bien que TC1 et TC2 aient permis d'économiser respectivement 55 min/ha (15 % du temps) et 235 min/ha (127% du temps), les manques de rendement en grains dans ces deux traitements, comparés à T1, étaient respectivement de 6 qx/ha et 19 qx/ha.

5. CONCLUSION

L'utilisation du chisel en deux passages croisés (T1) est une technique qui améliore les conditions d'installation de l'orge irriguée, comparée aux autres itinéraires classiques basés sur l'utilisation des charrues à socs (TC1) ou des pulvérisateurs à disques type Off-set (TC2). En effet, les deux profils hydrique et pénétrométrique du sol sont améliorés en T1, grâce au travail en profondeur des dents de chisel qui favorisent l'éclat de la semelle de labour, ayant pour conséquence une meilleure infiltration de l'eau et un meilleur développement des racines de l'orge. L'effet des plantes adventices sur le développement de la culture en T1 a été réduit grâce à un désherbage efficace et au temps opportun. La résultante des effets positifs de T1, en terme hydrique et structure du sol, ont favorisé un meilleur développement de l'orge et un rendement final en grains supérieur à celui de TC1 et encore plus qu'en TC2. Bien que les besoins horaires de mécanisation en T1 soient supérieurs de 15% et de 127% respectivement par rapport à TC1 et TC2, cet itinéraire (T1) reste économiquement rentable, comparé aux deux autres techniques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bachta M.S., 2011 - La céréaliculture en Tunisie : une politique de régulation à repenser. *Les notes d'analyse du CIHEAM*, n° 64, Décembre 2011

Bahrouni H., 1999. -Etude comparative de l'impact immédiat de trois techniques de labour sur l'état structural du sol. *Revue de l'INAT*, 14, (1), 197-206.

Barthélemy P., Boissongontier D., Lajoux P., 1987-*Choisir les outils de travail du sol. Collection «Choisir les outils», ITCF (Ed.) Paris*, 197p.

Ben Abdallah M. A., Mansouri T., Bahrouni H. et Hamza E., 2007. Les qualités du Chiselage comparées à celles de Deux Itinéraires Conventionnels de Préparation du Sol. *Revue de l'INAT*, 22, (2), 5-17.

Ben Abdallah M.A., 2007-*La mécanisation des cultures céréalières : techniques et outils disponibles pour améliorer son efficacité*. Ed INRGREF-Tunisie 2007. 120p.

Ben Abdallah M.A., Mansouri T., Bahrouni H., Hamza E et Destain M.F., 2005-*Modélisation des Interactions Machine-Plante : Un Outil Pour Améliorer l'Efficacité d'Exploitation des Machines Agricoles. Actes du Congrès International de la Mécanisation Agricole*, Tunisie-novembre 2005, 29-40.

Bouaziz A., Souty N., Hicks D., 1990-Emergence force exerted by wheat seedlings. *Soil and Tillage Research*, 17(3-4), 211-219.

Cedra C., 1993-*Les matériels de travail du sol et de semis et plantation. Collection FORMAGRI Paris (1ère Ed.)*, 3, 384 p.

CREAB, 2008- *Résultats de l'essai variétés d'orges d'hiver en agriculture biologique. Campagne 2007-2008*. Centre Régional de Recherche et d'Expérimentation en Agriculture Biologique, Midi-Pereennes, 10p.

Meynard J.M. et Sebillote M., 1994 - L'élaboration du rendement du blé, base pour l'étude des autres céréales à tailles. *In Elaboration du rendement des principales cultures annuelles*. Edscombe L. picard D., INA-France, 31-51

Deghais M., Kouki M., GHARBI M.S. et FELAH M., 2007 -*Les variétés de céréales cultivées en Tunisie*. Eds INRA-Tunisie, 387-420.

Direction Générale des Etudes et du Développement Agricole (DGEDA) - *Enquête sur les structures des exploitations agricoles*, Janvier, 2006

Jemai i., Ben Aissa N., Ben Guirat S., Ben Hammouda M., Gallali T., 2012 - On farm assessment of tillage impact on the vertical distribution of soil

organic carbon and structural soil properties in a semiarid region in Tunisia. *Journal of environmental management*, 113, 488-494.

Garbi M.S. et El Felah M. 2013 - Les céréales en Tunisie : plus d'un siècle de recherche variétale. *Annales de l'INRAT, Numéro spécial*, 86, 45-68.

Gaultney L., Krutz G.W., Liljedahl J.B., 1982-Effect of subsoil compaction on corn yield. *Transaction of ASAE*, 25(3):563-569.

Mansouri T., Ben Abdallah M.A. et Hamza E., 1998-Effets de trois itinéraires techniques sur le comportement du tracteur outil et sur l'état structural du sol. *Actes du 13ème congrès International du Génie Rural, Rabat 1998. Mécanisation agricole*, 3, 227-236.

Oestges O., 1994 -*La mécanisation des travaux agricoles. Les presses agronomiques de Gembloux*. 115-117.

Ouézou Y. A., 1999-*Protection des sols en culture mécanisée. Cahiers agriculture*, 3, 189-195.

Ozmerzi A., Karayel D., Topakci M., 2002-Effect of sowing depth on precision seeder uniformity. *Biosystems Engineering*, 82(2), 227-230.

Roullier P., Barbarit E., 2013 -*La culture de l'orge d'hiver, Agriculture et Territoire*. Eds chambre d'agriculture mayenne, France, 5p.

Richard G., Boiffin J., 1990-Effet de l'état structural du lit de semences sur la germination et la levée des cultures. In *La structure du sol et son évolution : conséquences agronomiques, maîtrise par l'agriculteur*. Les colloques de l'INRA Versailles, France, 53, 111-134.

Richard G., Durr C., 1997-Réussite de la levée en relation avec l'état du lit de semence. In *actes du séminaire « nouvelles alternatives en matière de travail du sol : conséquences agronomique et critères de choix »*, CRA-Gembloux 17 décembre 1997, 12-20.

Simon H., Codaccioni P., Lecoœur X., 1989 -*Produire des céréales à paille. Agriculture d'aujourd'hui*. Eds Tec & Doc. 333p.

Souty N., 1987-Aspect mécanique de la croissance des racines : Mesure de la force de pénétration. *Agronomie*, 7(8), 623-630.

Vitlox O., 1984-Tassement du sol et décompactions. *Cultivar n° 175*, 57-59.

Voorhees W.B., 1977-Soil compaction: How it influences moisture, temperature, yield and root growth. *Crops soil*, 29(6), 7-10.