

Effet du mode de semis et de la rotation culturale sur les paramètres de croissance et les composantes de rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) variété « Karim »

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

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

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

³Institut National des Grandes Cultures

*Corresponding author: mouelhi1979@gmail.com

Abstract - This work was performed at the Koudiat Experimental Station of the National Institute of field crops. He studied different cropping systems practiced in the upper semi arid north western Tunisia. These systems have durum wheat (*Triticum durum* Desf.) "Karim" variety as the main crop with a biennial rotation previous legume (faba beans) and cereals (barley or oats), which forms the major previous crops of durum wheat in rainfed cereal systems north west Tunisia. The aim of the work is to study the behavior of durum wheat (growth parameters and yield components) under two planting methods (conventional cropping (SC) and No till (SD)) and with three different previous crops (barley (O), oats (Av) and faba bean (February)). This study showed that the effect of No till seeding can be significant on growth parameters and components yields than when bound to a previous crop oats or faba bean (height Bd / Fev direct seeding is higher than in conventional cropping with over 12.5% and the content of protein in the same seeding mode with over 4.66%) and direct seeding effect becomes significant from the third and fourth year of cultivation (the case of the leaf surface, the weight of thousand seeds and efficiency of water use straw and seed). In addition to that, this study confirmed the previous barley does not improve the components of durum wheat yields is driving some of the crop.

Keywords: No tillage, previous crop, growth, yield components

Résumé - Ce travail a été réalisé à la station expérimentale Koudiat de l'institut national des grandes cultures. Il a étudié différents systèmes de culture pratiqué dans le semi aride supérieur du nord ouest de la Tunisie. Ces systèmes ont le blé dur (*Triticum durum* Desf.) variété « Karim » comme culture principale avec une rotation biennale à précédent légumineuse (féverole) et céréale (orge ou avoine) qui forme les principales cultures précédentes du blé dur dans les systèmes céréaliers pluviale du nord ouest de la Tunisie. L'objectif du travail est d'étudier le comportement du blé dur (paramètres de croissance et composantes de rendement) sous deux modes de semis (semis conventionnel (SC) et semis direct (SD)) et avec trois différents précédents cultureux (orge (O), avoine (Av) et féverole (Fev)). Cette étude a montré que l'effet du semis direct peut être significatif sur les paramètres de croissance et composantes de rendements que lorsqu'il est lié à un précédent cultural avoine ou féverole (hauteur de Bd/Fev en semis direct est élevée à celui en semis conventionnel avec plus de 12.5 % et en teneur en protéine dans le même mode de semis avec plus de 4.66 %) et que l'effet semis directe est devient significatif à partir de la troisième et quatrième année de culture (cas de la surface foliaire, le poids de mille graine et de l'efficience de l'utilisation de l'eau de la paille et de graine). De plus, cette étude a confirmé que le précédent orge n'améliore pas les composantes de rendements de blé dur quelques soit la conduite de culture.

Mots clés: Semis direct. Précédent cultural. Croissance. Composantes de rendement



1. Introduction

En Tunisie, La monoculture de blé couvre actuellement plus de 70% des emblavures céréalières en Tunisie. Ces surfaces occupent toute sorte de terrain allant des plaines inondables aux parcelles perchées sur des hauteurs à forte pente dépassant 20 % (Ben Jeddi et al., 2005). De plus, L'intensification des systèmes de culture et de la monoculture ont entraîné une diminution des teneurs en matière organique des sols cultivés, leur conférant ainsi une moindre fertilité et une sensibilité accrue à la dégradation (Steutel et al., 2003). En Tunisie, la simplification du travail du sol jusqu'aux semis direct sont des techniques introduites ces dernières années. Les résultats acquis sont très aléatoires d'une année à l'autre et même d'une région à l'autre. Malheureusement, cette technologie nouvelle n'est pas encore manipulée dans le cadre d'un système de cultures qui vise tout d'abord la valorisation et la promotion des ressources biologiques locales (Bouajila et al. 2013). Face à cette situation, il devient intéressant d'étudier le comportement du blé dur, plante principale dans le contexte des emblavures céréalières en Tunisie, face aux systèmes de rotation des cultures et avec des facteurs techniques différents qui conviennent avec le développement de la culture. Ainsi, les objectifs du présent travail sont: i) Comparaison de deux modes de semis : le semis conventionnel et le semis direct ; et ii) Effet de la rotation des cultures sur la production de blé dur de plusieurs espèces utilisés dans les régions du semi aride tunisien du nord de la Tunisie.

2. Matériels et Méthodes

2.1. Site expérimental

L'essai a été réalisé durant 5 campagnes agricoles de 2009/2010 à 2013/2014, au niveau du site expérimental Kodiac, appartenant à l'Institut National des Grandes Cultures (I.N.G.C.), à Bousalem du gouvernorat de Jendouba. La station est caractérisée par une longitude de 9°0'40.73"E, une latitude de 36°32'51.89"N. La moyenne de pluviométrie de 535.34 mm. La moyenne du total du cumul thermique des cinq campagnes est de 2451.73 °C. Le sol de la station a une texture argilo-sablo limoneuse (46.74 % de sable ; 27.66 % d'argile, 25.6 % de limon et 1.9 % matière organique). Elles contiennent de faibles proportions de calcaire et ont un pH légèrement basique.

2.2. Conduite de l'essai

Le dispositif expérimental adopté est un modèle en blocs complètement randomisés avec quatre répétitions. L'essai est sous forme une rotation biennale pour chaque bloc. La culture principale est le blé dur (*Triticum durum* Desf.) variété « Karim » qui est en rotation avec deux céréales (avoine (*Avena sativa* L.) variété « Medjerda » et orge (*Hordeum vulgare* L.) variété « Rihane ») et une légumineuse (féverole (*Vicia Faba* L.) avec deux techniques de semis (semis direct et semis conventionnel). On trouve en total 48 blocs (24 blocs en semis conventionnels et 24 en semis direct) et les traitements utilisés sont :

- Bd/O : blé dur à précédent orge
- O/Bd : orge à précédent blé dur
- Bd/Av : blé dur à précédent avoine
- Av/Bd : avoine à précédent blé dur
- Bd/Fev : blé dur à précédent féverole
- Fev/Bd : féverole à précédent blé dur

2.3. Paramètres étudiés

2.3.1. Paramètres de croissance

- **Hauteur de la plante :** La hauteur des plantes a été mesurée au stade maturité à l'aide d'une règle graduée à partir du collet jusqu'aux dernières extrémités des barbes de l'épi visant la détermination de la taille des plantes dans chaque bloc et pour dix plantes au hasard (Ouanzar, 2012).
- **Surface foliaire :** La surface foliaire du blé dur au stade épiaison a été effectuée sur dix plantes prélevées pour mesurer toutes les feuilles d'une plante de chaque unité expérimentale. La lecture a été faite sur un planimètre model LI-3000A (Yangui, 2011).
- **Efficacité de l'utilisation de l'eau biologique :** L'efficacité de l'utilisation de l'eau (EUE b) a été obtenue en rapportant le rendement par rapport à la consommation de l'eau correspondante (Cooper *et al.*, 1987 ; Gregory *et al.*, 2000 ; Zwart et Bastiaanssen, 2004). Elle a été calculée en prenant en considération les rendements biologiques de la paille et grain (EUE b). L'EUE est généralement

exprimée en kg/ha/mm et elle définit la quantité de production obtenue par une unité d'eau utilisée; ainsi on peut convertir son unité en kg/m³ (1 kg/m³ = 10 kg/ha/mm) qui est plus aisément perceptible (Mallouli et al., 2005).

2.3.2. Composantes de rendement

- **Nombre de grains par épi (NGE):** Ce paramètre a été mesuré sur dix épis pris au hasard. Après battage manuel le nombre total de grains est compté pour déduire la moyenne par épi à l'aide d'un appareil nommé « Numigral » (Sakouhi, 2012).
- **Le poids de mille grains (PMG):** dix échantillons de 1000 grains prélevés de la récolte de chaque parcelle élémentaire sont pesés séparément, pour en déduire les PMG des traitements dans chaque bloc. Il s'agit de peser à l'aide d'une balance de marque AND type GX 200, 1000 grains de chaque traitement. Ces pesées ont été répétées 10 fois (ISTA, 1999).
- **Le poids spécifique :** C'est le poids d'un hectolitre de grains exprimés en kilogrammes. Elle est utilisée pour prédire le comportement du blé au cours de la mouture. Sa détermination donne quelques indications sur la teneur en eau et les impuretés des céréales et le rendement en farine. Elle est déterminée par l'écoulement d'un échantillon au moyen d'un humidimètre Dickey- John (Sassi, 2008).
- **La teneur en protéines des graines :** Au niveau de chaque bloc, 10 échantillons de grains sont utilisés pour la détermination du pourcentage d'azote par la méthode de Kjeldhal. Le % de protéines est déterminé par la formule $MAT (\%) = N (\%) * 6.25$ (Majdoub et al., 1994).
- **Efficacité de l'utilisation de l'eau des grains:** L'efficacité de l'utilisation de l'eau des grains (EUE g) a été obtenue en rapportant le rendement par rapport à la consommation de l'eau correspondante. Elle a été calculée en prenant en considération les rendements en grains (Cooper et al., 1987 ; Gregory et al., 2000 ; Zwart et Bastiaanssen, 2004).

2.4. Analyse statistique

Le traitement des données recueillies a été réalisé par les logiciels Excel (version 2007) pour l'analyse descriptive et la construction des graphiques et le logiciel Statistica (version 7) pour l'analyse des variances (ANOVA) et l'analyse en composantes principales (Slim, 2012).

3. Résultats et discussions

3.1. Paramètres de croissance

3.1.1. Hauteur

L'évolution de la hauteur du blé dur au stade fin épiaison durant 5 campagnes agricoles en régime pluvial sous deux modes de semis pour trois différents précédents culturaux (orge, avoine et féverole) est représentée dans le tableau 1. La hauteur de la plante de blé dur de variété Karim varie de 73 à 93 cm ceci est conforme avec les résultats de Yangui en 2011 qui a trouvé pour la variété de blé dur « Karim » une hauteur entre 80 à 95 cm. On remarque aussi que la hauteur de la plante chez le blé dur à précédent légumineuse (Bd/Fev) est élevée par rapport aux autres précédents céréales avec une moyenne de 11.53 % en semis conventionnel et de 12.5 % en semis direct; ces résultats sont conformes avec celles trouvée par Mouelhi et al. (2014) et avec Ben Jeddi, (2005), où la différence de hauteur entre blé dur à précédent Sulla du nord « Bikra 21 » et blé dur en monoculture de plus de deux ans peut être plus de 15 % vue que les légumineuses permettent d'offrir plus d'humidité dans le sol par les eaux de pluie infiltrés dans les sols occupés par les légumineuses comme précédent cultural (Rezgui, 2014 et Bellague et al., 2010). En comparant les deux précédents céréales (orge et avoine), le blé dur à précédent orge a une moyenne de hauteur plus élevée que celle avec précédent avoine avec 3.65 % en semis conventionnel et 1.33 % en semis direct. De plus, la différence de la hauteur de blé dur à précédent orge par rapport au blé dur à précédent légumineuse peut être due à l'effet allélopathique de l'orge sur les cultures au niveau de la croissance de la racine et le retard de la levée (Opoku et al., 1997). Par contre, Ouanzar (2012) a trouvé que la hauteur de blé dur en semis direct, durant deux campagnes agricoles est inférieure à celle en semis conventionnel avec 12.2 % et le travail réduit avec 7.7 %.

Tableau 1 : Evolution des paramètres de croissance du blé dur en fonction des précédents culturaux sous deux modes de semis pendant 5 campagnes agricoles.

PC	MS	Campagne culturale				
		2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014
HAUT						
Bd/O	SC	91.6+/-1.69g	81.18+/-0.81c	82.99+/-2.37de	81.29+/-2.37cd	72.03±0.7a
	SD	90+/-1.89e'	82.92+/-3.42c'	86.63+/-3.01d'	82.49+/-1.03c'	75.53+/-0.99ab'
Bd/Av	SC	88.67+/-1.15f	78.25+/-1.05b	76.86+/-0.7b	72.75+/-0.63a	72.36+/-1.2a
	SD	90.75+/-0.8ef'	82.33+/-0.32c'	81.05+/-1.49c'	77.54+/-0.53b'	73.78+/-1.12a'
Bd/Fev	SC	90.35±1.85fg	89.03±1.47f	92.65±1.04f	91.58±0.37g	83.68±0.69e
	SD	92.63±0.8f'	90.99±0.86ef	92.65±1.04f	92.88±0.39f	87.7±1.2d
SF						
Bd/O	SC	320,45±3.2bc	324,49±6.14bcde	316,67±6.8b	302,01±6.34a	323,72±11bcde
	SD	330,9±7.85abcd	323,55±4.05ab	330,78±4.4abc	321,39±10.6a	323,72±5.32ab
	SC	327,42±9.7cdef	326,57±10.1bcdef	320,79±6.5bcd	320,11±12.7bc	333,54±4.79efg
	SD					331,42±6.4abc
Bd/Av		335,62±5.9bcde	339,11±18.6cde	353,77±6.1f	339,75±15.8cde	d
Bd/Fev	SC	328,53±4.2cdef	331,29±1.98def	336,43±10.35fg	336,18±1.95fg	342,55±606g
	SD	329,46±7.3ab	333,75±10.9abcd	337,37±6.3cde	344,21±10.1def	347,69±8.04ef
EUE b						
Bd/O	SC	3,4±0.14fg	2,73±0.11c	1,77±0.13a	3,33±0.18def	2,6±0.1bc
	SD	3,31±0.1efg	2,63±0.1bcd	1,92±0.07a	3,3±0.12efg	2,56±0.1bc
Bd/Av	SC	3,24±0.12de	2,67±0.11c	1,9±0.05a	3,19±0.13d	2,49±0.11b
	SD	3,36±0.07fg	2,65±0.07cd	1,87±0.03a	3,23±0.15ef	2,5±0.1b
Bd/Fev	SC	3,46±0.05g	2,77±0.21c	1,93±0.09a	3,37±0.15fg	2,66±0.1bc
	SD	3,22±0.1e	2,74±0.04d	1,85±0.03a	3,38±0.16g	2,64±0.08cd

HAUT : hauteur de la plante, SF : surface foliaire ; EUE b : Efficience de l'utilisation de l'eau biologique (Paille et graine) ; Bd/O : blé dur à précédent orge ; Bd/Av : blé dur à précédent avoine ; Bd/Fev : blé dur à précédent féverole ; SC : semis conventionnel ; SD : semis direct ; PC : précédent cultural ; MS : mode de semis

Dans la même ligne les moyennes suivies par différentes lettres sont significativement différentes (p <0.05)

3.1.2. Surface foliaire

D'après le tableau 1, la comparaison des deux modes de semis conventionnel et direct a montré que la surface foliaire en semis direct est plus élevée qu'en semis conventionnel, en cinq années d'expérimentation Pour le blé dur à précédent cultural avoine et orge respectivement avec 4.11 et 2.76 % ce qui prouve l'effet significatif du mode de semis sur ce paramètres.. Le blé dur à précédent féverole, en semis direct est légèrement élevé à celui en semis conventionnel avec 0.88 %, ceci peut être dû au rôle important d'accumulation de l'humidité du sol par les résidus de culture laissé par les légumineuse (Zouaghi, 2004 et Bouchenfa et al., 2013) ce qui réduit l'effet du stress hydrique qui affecte les cultures (Assem et al 2006).

3.1.3. Efficience de l'utilisation de l'eau

En semis conventionnel, les moyennes des cinq années de l'essai ont montré que EUE b de Bd/Fev est plus élevée de 2.46 et 4.92% par rapport respectivement à celle des précédents céréales orge et avoine (Tableau1).L'analyse statistique de l'anova au seuil de 5 %, a montré qu'il existe un effet très significative du précédent cultural indépendamment d'autre variable sur l'EUE b et aussi un effet très significative des années indépendamment d'autre variable. Pour le semis direct, la moyenne des cinq années de l'essai a montré, de même pour le semis conventionnel, que l'EUE b de Bd/Fev est élevée à celle de précédents céréales (orge et avoine) avec 1.08 % au précédent orge et 1.80 % au précédent avoine (tableau1). L'analyse statistique de l'anova au seuil de 5% a montré que les années de l'essai ont un effet très significative sur l'EUE b. Par contre, il existe une absence d'effet significative du précédent cultural dans cet essai. De plus, on observe que durant les cinq années de l'essai, il existe une interaction de groupe statistique entre l'EUE b de Bd/Fev et Bd/O (tableau 1). En comparant l'effet de deux mode de semis sur l'EUE b, on signale que l'EUE b du Bd/O en semis conventionnel est élevée à celle en semis sans labour, avec 1.09 % et aussi l'EUE b du Bd/Fev en semis

conventionnel (SC) est élevée à celle en semis direct (SD) avec 2.46 %. Cependant, l'EUE b du Bd/Av, en semis direct, est plus élevée que celle en semis conventionnel avec 0.73 % (tableau 1).

Mellouli *et al.*, en 2005, ont trouvé une relation étroite entre l'EUE b et la quantité d'azote apporté à la plante durant son cycle de vie, ceci est expliqué par la moyenne élevée de EUE b de blé dur à précédent féverole qui est une légumineuse fixatrice d'azote (Bouajila *et al.*, 2013). En semis direct, l'effet précédent cultural est non significatif vu que la différence entre EUE b de blé dur à précédent avoine et orge est faible avec respectivement 1.8 et 1.08 % (tableau 1). On signale que Belkharouche *et al.* (2009), ont mentionné que la surface foliaire détermine progressivement les quantités d'eau utilisées par la plante sous forme de transpiration et les quantités de carbone fixés par voie photosynthétiques ceci est visualisé par les résultats trouvés de l'EUE b et de la surface foliaire en semis conventionnel où le précédent légumineuse a le taux le plus élevée. Mais, dans cette étude l'EUE b de semis direct est faible par rapport en semis conventionnel durant les cinq années de l'essai avec une moyenne de 1.86 % pour le précédent orge et légumineuse ce qui est confirmé par, Ouazar, (2012), qui a trouvé que l'EUE b en semis direct est inférieur à celui de travail du sol minimum avec 22.85 % et supérieur au travail classique avec 19 %.

3.2. Les composantes de rendement

3.2.1. Nombre de graines /épi

Entre les deux modes de semis (conventionnel et direct), on constate que la valeur de moyenne de nombre de graines/épi la plus élevée est enregistrée pour le précédent féverole, en mode semis direct, pendant la 5^{ème} campagne (2013/2014) avec 48 ± 3 graines /épi et la valeur la plus faible est enregistré durant la campagne 2010/2011 et la campagne 2012/2013 pour le précédent orge respectivement pour le mode de semis direct (33 ± 3) et semis conventionnel (33 ± 4). L'analyse statistique Anova au seuil de 5%, nous montre qu'il n'y a pas de différence significative, en comparant les résultats des deux modes de semis, entre les campagnes agricoles ($p = 0,156887$) et même une absence d'interaction entre le précédent cultural et le mode de semis ($p = 0,088709$) (tableau 2). Le NGE, est influencé significativement par le précédent cultural et le mode de semis et non significatif par l'effet années. Ces résultats sont confirmés par Chennafi *et al.*, (2011), qui ont trouvé que le précédent cultural a une influence sur le NGE, en augmentant le rendement des graines de blé dur et aussi ils ont montré que le travail du sol réduit en fonction d'un précédent cultural comme la jachère améliore le NGE plus que la monoculture paille sur paille. De plus, Nedjem (2012), dans le semi aride algérien et en comparant plusieurs génotypes de blé dur en deux modes de semis (semis conventionnel et semis direct) a montré que le semis direct a un effet significatif sur l'amélioration de NGE par l'effet de la couche de mulch qui peut offrir plus d'humidité à la plante. Cependant, Ben Jeddi (2004), a montré que l'effet de précédent légumineuse (Sulla du nord), qui améliore le NGE jusqu'à 33% par rapport à la monoculture. Mais, Sakouhi (2012), a montré qu'il n'existe pas d'effet significatif entre les deux modes de semis SD et SC pour le nombre de NGE sous différentes fertilisations azotées.

3.2.2. Rendement en graines

La moyenne de rendement des graines de blé dur, en mode de semis conventionnel, la plus élevée est enregistrée durant la campagne 2012/2013, pour un précédent féverole avec 40.02 ± 0.8 qx/ha (tableau 2). Cependant, la moyenne la plus faible est enregistrée pour le précédent orge pour la campagne 2013/2014 avec une valeur de 18.42 ± 0.9 qx/ha. Avec le semis sans labour (SD), d'après le tableau 2, on note que la valeur maximale des moyennes de rendements de grains de blé dur, variété Karim, est enregistrée durant la quatrième campagne agricole (2012/2013), avec une valeur de 42.87 ± 0.34 qx/ha. On constate que la faible moyenne enregistrée est durant la cinquième campagne pour le précédent orge avec une moyenne de 19.62 ± 0.37 qx/ha. Le paramètre de rendement est influencé par l'efficacité de l'utilisation de l'eau des graines selon le tableau 2 et aussi par le NGE, le poids de mille graines et le NEM et selon le tableau 2 il est corrélé avec le précédent cultural surtout durant les campagnes agricoles où la pluviométrie est faible et lorsque la pluviométrie est élevée au stade montaison et gonflement, anthèse et remplissage il est corrélé avec l'effet mode de semis. Ces résultats sont approuvés par Sayar *et al.*, (2007), qui ont montré que le rendement augmente jusqu'à 35 %, lorsque les conditions de régimes hydriques sont optimales et la plante non soumise au stress hydrique au stade gonflement et remplissage. Les travaux de Rezgui (2014), sur les rotations dans les régions semi arides qui montrent que les rendements de graines de blé dur issues d'un précédent paille sur paille

diminuent les rendements en grains de la culture suivante avec 35%. Les résultats agronomiques de dix ans d'expérimentation en Tunisie, élaboré par Angar *et al.*, (2011), ont montré que le rendement de blé dur conduit en semis direct est en moyenne supérieur de 0.8 tonnes/ha par rapport au semis conventionnel dans les zones subhumides et de 0.7 tonnes/ha en zones semi-arides. Par contre, Sakouhi, en 2012, a montré que le semis conventionnel de blé dur a un rendement plus élevée qu'en semis direct avec plus de 15 %.

Tableau 2 : Evolution des paramètres de rendement du blé dur en fonction des précédents culturaux sous deux modes de semis pendant 5 campagnes agricoles.

PC	MS	Campagne culturale				
		2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014
NGE						
Bd/O	SC	37±3bc	39±2cd	38±4bc	33±4a	34±2ab
	SD	40±2	33±3	39±1	38±3	37±4
Bd/Av	SC	40±2cd	42±2d	40±3cd	37±3bc	38±4bc
	SD	40±1	41±3	42±2	37±5	45±8
Bd/Fev	SC	39±2cd	39±1cd	38±3bc	41±2cd	43±2d
	SD	40±2	41±2	44±2	46±2	48±3
RDT						
Bd/O	SC	3,88±0.16i	3,03±0.26f	2,50±0.11d	2,28±0.16c	1,84±0.1a
	SD	3,40±0.71e	3,21±0.1de	2,98±0.06cd	2,46±0.04b	1,96±.06a
Bd/Av	SC	3,14±0.06f	2,83±0.05e	2,69±0.12e	2,36±0.1cd	2,05±0.07b
	SD	3,42±0.08e	3,03±0.09cd	2,85±0.13c	2,19±0.05ab	2,17±0.04a
Bd/Fev	SC	3,32±0.05g	3,13±0.06f	3,14±0.01f	4,00±0.08i	3,56±0.11h
	SD	3,46±0.03e	3,43±0.11e	3,75±0.03f	4,29±0.03g	3,82±0.08f
PMG						
Bd/O	SC	43,38±0.19c	43,53±0.04c	42,22±0.08b	43,59±0.16c	41,28±0.51a
	SD	43,22±0.18b	44,48±0.23f	43,24±0.07b	43,88±0.04e	42,69±0.18a
Bd/Av	SC	43,53±0.46c	44,35±0.05d	43,54±0.15c	43,47±0.14c	42,34±0.18b
	SD	43,19±0.06b	43,36±0.06b	43,69±0.23de	43,7±0.21de	43,38±0.24bc
Bd/Fev	SC	43,28±0.16c	43,52±0.21c	43,52±0.25c	44,23±0.29d	43,5±0.08c
	SD	43,6±0.2cd	45,6±0.07h	44,75±0.1g	44,51±0.16f	43,86±0.2 e
PS						
Bd/O	SC	77,39±0.12a	78,38±0.08cd	77,34±0.06a	77,88±0.05b	77,43±0.18a
	SD	78,35±0.16cde	78,82±0.16f	78,22±0.06c	78,53±0.04e	77,71±0.08b
Bd/Av	SC	77,46±0.12a	77,41±0.21a	77,43±0.08a	77,28±0.16a	77,76±0.21b
	SD	77,35±0.09a	78,5±0.24de	78,51±0.18 e	78,54±0.16e	78,31±0.09cd
Bd/Fev	SC	78,2±0.12bc	78,48±0.19d	77,79±0.07b	79,56±0.13e	80,52±0.17f
	SD	80,56±0.1h	79,28±0.07g	78,18±0.11c	79,37±0.04g	80,38±0.23h
PRO						
Bd/O	SC	12,46±0.15a	12,55±0.17ab	12,46±0.2a	12,79±0.18bc	12,86±0.15cd
	SD	12,55±0.23cd	12,59±0.24cd	12,69±0.23d	12,33±0.28bc	12,77±0.11de
Bd/Av	SC	12,98±0.22cd	12,99±0.22cd	12,92±0.11cd	13,13±0.41d	12,94±0.23cd
	SD	11,75±0.27a	12,09±0.14ab	13,2±0.26g	13,08±0.23efg	12,85±0.05def
Bd/Fev	SC	12,9±0.24cd	12,9±0.18cd	12,84±0.16cd	12,89±0.1cd6	12,88±0.14cd
	SD	13,33±0.11g	13,17±0.14fg	13,37±0.09g	13,05±0.16efg	13,11±0.55efg
EUE g						
Bd/O	SC	1,66±0.13fg	1,42±0.08cd	1,22±0.02ab	1,72±0.14fg	1,22±0.09ab
	SD	1,68±0.12fg	1,38±0.05bcd	1,11±0.06a	1,37±0.25bcd	1,1±0.07a
Bd/Av	SC	1,86±0.17h	1,55±0.09def	1,27±0.08ab	1,49±0.05de	1,33±0.07bc
	SD	1,69±0.14fg	1,6±0.16ef	1,31±0.08bc	1,5±0.08de	1,25±0.08ab
Bd/Fev	SC	1,57±0.14ef	1,48±0.05de	1,17±0.07a	1,58±0.07ef	1,24±0.1ab
	SD	1,81±0.16g	1,42±0.09cd	1,27±0.08abc	1,69±0.13fg	1,35±0.1bcd

NGE : Nombre de grains par épi ; EUE g : Efficience de l'utilisation de l'eau des graines PRO :teneur en protéines de graines ;PS : poids spécifiques ; PMG : poids de mille gaines ; RDT : rendement en graines (tonnes/ha) Bd/O : blé dur à précédent orge ; Bd/Av : blé dur à précédent avoine ; Bd/Fev : blé dur à précédent féverole ; SC : semis conventionnel ; SD : semis direct ; PC : précédent cultural ; MS :mode de semis

Dans la même ligne les moyennes suivies par différentes lettres sont significativement différentes (p <0.05)

3.2.3. Poids de mille graines (PMG)

En comparant les deux modes de semis, on observe que le semis direct, possède la moyenne la plus élevée du PMG, puisque le Bd/O en semis direct est plus élevée que celui en semis conventionnel avec 1.61 %, le Bd/avoine en semis direct est légèrement élevée que celui en semis conventionnel avec 0.04 %. Pour le BD/Féverole en semis direct est plus élevée que le PMG du semis conventionnel avec 1.91% (tableau 2) Ce qui prouve l'effet très significative du mode de semis. Le PMG est corrélé vers l'axe des précédents culturaux, cet effet est obtenu selon les conditions climatiques des campagnes agricoles avec stress hydrique à partir de la phase gonflement jusqu'à remplissage, le PMG est influencé par l'effet précédent cultural surtout en faveur de précédent avoine et féverole quel que soit le mode de semis et pour les années où la pluviométrie est satisfaisante au besoin de la plante, le PMG corrèle avec le mode de semis. Ces résultats sont conformes avec la réalité et aux résultats trouvés par Belkharouche et al. 2009, qui a trouvé que le poids de mille graine et le nombre d'épi/ m² joue un rôle important dans les climats variables. De plus, Rezgui, (2014), dans la région du Kef, semi aride, a montré que le PMG des graines est affecté par le stress hydrique, mais, l'effet des précédents légumineux est supérieur à la monoculture. En plus, Mouelhi, (2004), a montré que le blé dur à précédent légumineuse a un PMG plus élevée de 16 % par rapport à la monoculture dur blé et aussi le travail du sol réduit produit du PMG du blé dur de la variété Karim plus élevé que 1 blé dur en monoculture céréalière avec plus de 15.62%. Par contre Fellahi et al., (2013), ont montré que le travail du sol classique est plus avantageux en PMG par rapport au semis direct. Chennafi, (2011), a montré qu'il existe une légère augmentation de 0.91 %.

3.2.4. Le poids spécifiques

Ce paramètre est pris directement après la récolte, pour bien déterminer une des composantes de la qualité technologique de blé dur. Pour le semis conventionnel, la valeur de la moyenne, la plus élevée est observée pour le Bd/Fev avec une valeur de 80.52 ± 17 , pendant la campagne agricole 2013/2014 (tableau 2). Alors qu'en semis direct, le tableau 2, c'est le Bd/Fev qui a la moyenne élevée par rapport aux autres précédents avec 80.56 ± 0.1 , pendant l'année 2009/2010. En comparant, entre les deux modes de semis (conventionnel et direct), durant les 5 campagnes agricoles, on conclut que pour le Bd/orge en semis sans labour est élevée que celui en semis conventionnel avec 0.83 %. Aussi le Bd/avoine et le Bd/Féverole en semis direct sont supérieurs que leurs en semis conventionnels respectivement avec 0.98 et 0.8 %.

D'après la figure 1, le poids spécifique (PS) corrélé sur l'axe de mode de semis et l'efficacité de l'utilisation de l'eau de graine. Ceci est expliqué que le PS est influencé par les quantités d'eau valorisées par la plante sous forme de graines et donc les conditions climatiques et les stress hydriques ce qui explique la tendance de PS qui augmente lorsque les campagnes agricoles sont pluvieuses et corrélées avec le mode de semis et diminue avec le stress hydrique et corrélées vers l'axe des précédents culturaux (figure 1). Ces résultats sont conformes avec la réalité vue que l'effet années est très significatif. De plus, Latir-Souki, (1992), confirme ces résultats puisque le déficit de pluviométrie se traduit par une mauvaise valorisation des apports d'azote et par le plafonnement des composantes successives du rendement comme le PS à des niveaux faibles. Aussi, En 2007, le Centre Technique des Céréales a déterminé que le poids spécifique de blé dur en semis direct dans les régions semi arides est plus élevée que le PS en semis conventionnel entre 1 et 4 %, alors dans cet essai c'est 0.87% et ceci est dû au taux d'humidité du sol fourni par le mulch en semis direct et l'activité microbienne du sol qui dégrade les résidus pour augmenter le taux de matière organique transformée en azote minérale.

3.2.5. Teneur en Protéines de graines de blé dur

En semis conventionnel La moyenne des 5 campagnes agricoles montre que le taux de protéine de blé dur à précédent avoine est supérieur à celui de blé dur à précédent légumineuse avec 0.85 % et plus élevée que celui de blé dur à précédent orge avec 2.84 % (tableau 2). Pour le semis direct, durant toute la durée de l'essai, on observe que le taux de protéine de blé dur à précédent légumineuse est élevé à celui de blé dur à précédent céréales (orge et avoine) avec 4.66%. De plus, la moyenne de taux de protéine de Bd/Fev est la plus élevée (durant la campagne 2011/2012) avec 13.37 ± 0.09 %. Alors, la moyenne de taux de protéine de BD/Av est la plus faible (durant la campagne 2009/2010) avec une valeur de 11.75 ± 0.23 % (tableau 2). La teneur en protéines des graines de blé dur est influençable par

le précédent cultural et l'effet années. comme le mitadinage l'effet mode de semis est non significatif ce confirme les résultats de la figure 13, Melki et al., (2015), ont montré que la teneur de protéines augmente avec le nombre de fractionnement d'azote jusqu'à plus de 51.4 % et ces résultats sont conformes au résultats de Benzarti, (2009), qui montre que l'augmentation de la dose d'azote augmente la teneur en protéines avec plus de 28.16 %. Ces observations sont proches des résultats trouvée vu que la teneur en protéines augment en semis direct avec le blé dur à précédent féverole avec plus de 4.54 % grâce à l'effet légumineuse comme précédent cultural et semis conventionnel, l'effet précédent avoine est élevée aux autres précédents avec une moyenne de 1.85%.

3.2.6. Efficience de l'utilisation de l'eau des graines

L'effet de deux mode de semis (conventionnel et direct) sur l'efficience de l'utilisation de l'eau des graines (EUE g) de blé dur des trois précédents culturaux (orge, avoine et féverole), l'EUE g de Bd/O, en SC est plus élevée que celle en SD avec 8.27 %. De plus, l'EUE g de Bd/Av, en SC, est plus élevée que celle en semis sans labour avec 0.02 %. Ce pendant, l'EUE g de blé dur à précédent légumineuse en semis direct est plus élevée que celle qu'en semis conventionnel avec 6.62 % (tableau 2).

L'EUE g a une influence est influencé par l'humidité relative et du taux de protéines de graines. D'après la figure 11, l'EUE g est corrélé avec le mode de semis et le poids spécifique. ce qui conforme avec les résultats de Nadjem, (2012). De plus, l'interaction précédent cultural et mode de semis sont significatif en comparant les deux mode de semis ceci conforme les corrélation représenté par la figure 11 où durant les années à forte pluviométrie, l'effet mode de semis est très significatif et l'EUE g corrélé. Mais durant les années où la pluviométrie est insatisfaisante au besoin pour le stade gonflement (Ben Naceur et al., 1999) pour le rendement, l'EUE g est influencé par l'effet précédent cultural et dans notre cas c'est le précédent féverole qui a un EUE g élevée par apport aux autres précédents céréales en semis direct et le précédent avoine a l'EUE g supérieur à celles des autres précédents surtout durant les campagnes à déficit hydriques. Alors qu'On signale qu'en semis direct, durant les années pluvieuse (2011/2012 et 2013/2014) et c'est le blé dur à précédent avoine de notre essai l'EUE g est faible par apport aux autres précédents. Chennafi et al., (2011), on a déterminé que l'effet précédent cultural comparé à la monoculture sur l'EUE g peut être élevé jusqu'à 45 % à la monoculture ce qui explique la valorisation du potentiel hydrique par les graines de précédent jachère. Rezgui, (2014), a montré que l'EUE g de blé dur à précédent légumineuse sont amélioré par apport à celle de précédent céréaliculture (orge) vue l'effet racinaire des légumineuses cas de la lentille dans son essai. Meloulli et al., (2005), a montré que l'effet azote du sol peuvent aussi améliorer l'EUE g. confirmé par Ben Jédi, (2005), qui a expliqué l'effet de précédent légumineuse come le Sulla Bikra 21 qui permette, après deux ans d'occupations du sol, de laisser 120 Kg unité d'azote/ha ce qui peuvent améliorer l'EUE g par apport à la monoculture.

3.3. Analyse des composantes principales des paramètres de rendements

Les corrélations des valeurs des variables mesurées avec les premiers axes principaux de l'analyse en composantes principales sont représentées dans la figure 1, Les deux premiers axes (axe 01 et axe 02) de l'ACP expliquent 39.16 et 20.24 % respectivement, soit 59.40 % de la variation totale, le plan formé par ces deux axes constitue une bonne base d'interprétation des différents paramètres et variables mesurés. On signale que dans la figure 1, il ya trois axes de trois variables qui sont les précédents culturaux, les campagnes agricoles et le mode de semis. Les paramètres se rapprochent selon certaines conditions pour les trois variables, pour les modes de semis, on observe que l'efficience de l'utilisation de l'eau des graines et poids de mille graines et le rendement sont très approchables au mode de semis. Pour le poids spécifique et le nombre de graines par épi sont très rapprochés à l'axe de la variable précédent cultural. Le paramètre de la teneur en protéines de graines est très approchable de l'axe de la variable des campagnes agricoles. Les paramètres rendements, poids de mille graines et efficience de l'utilisation de l'eau sont corréle avec l'axe de mode de semis et du précédent cultural ceci est explique qu'il existe un effet du mode de semis significatif pour ces paramètres. Mais lorsqu'il existe un changement des conditions climatiques défavorables. Ces paramètres peuvent corrélés avec l'axe des précédents cultural et mode de semis que l'interaction entre eux est significative. Ceci est conforme à la réalité vue que l'analyse statistique de l'anova au seuil de 5 % de ces paramètres montre l'interaction significative entre mode de semis et précédent cultural durant les années où la pluviométrie est en baisse. Le poids spécifique des graines (PS) et le nombre

de graines par épi (NGE) sont corrélées avec l'axe du précédent cultural et proche de l'axe de la variable du mode de semis. Ces deux paramètres se rapprochent aussi de l'axe des campagnes agricoles. Ceci montre un effet significatif du mode de semis, du précédent cultural sur ces deux paramètres. L'interaction entre les des variables PC et MS est en fonction des conditions climatiques des campagnes agricoles ce qui montre en réalité que durant les années pluvieuse surtout au stade montaison aux stades remplissages c'est l'effet mode de semis est significatif alors que et si les conditions sont défavorables c'est l'effet précédent cultural qui est significative et dans cet essai c'est l'effet légumineuse qui est favorable. Pour la teneur en protéine, d'après la figure 1, se rapproche de l'axe des campagnes agricoles. Mais, elle peut être corrélée avec l'axe du précédent cultural. Ceci prouve que en changement des conditions favorables, il tend vers l'effet année et dans les conditions climatiques défavorables c'est l'effet précédent cultural qui améliore le taux de protéines surtout en semis conventionnel où l'effet année et l'interaction année et précédent cultural sont non significative sans un effet de mode de semis sur ce paramètre ce qui est conforme aux résultats trouvés dans le tableau 2.

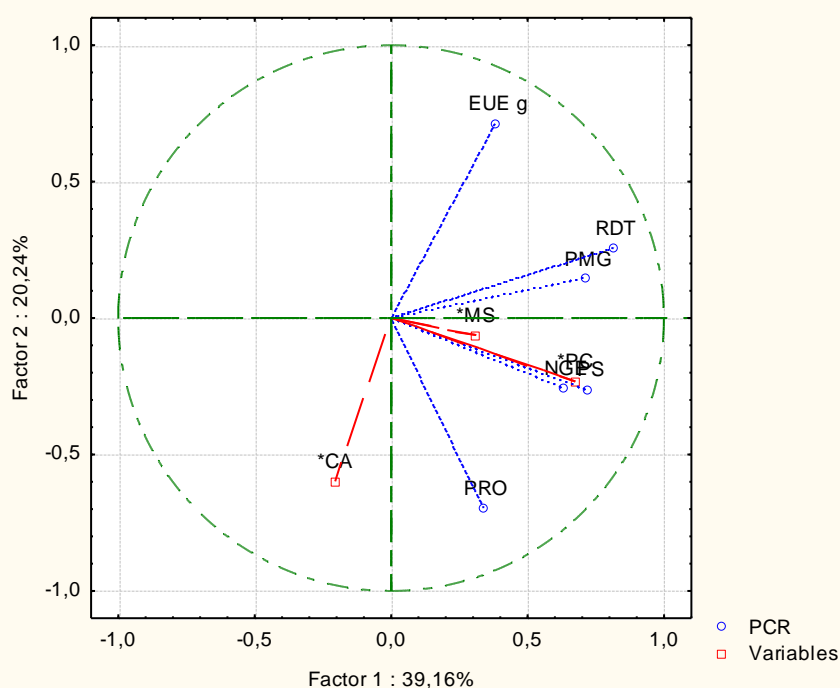


Figure 1 : Analyses en composantes principales selon le plan factoriel (1X2) appliquée sur le blé dur à précédents culturaux (Féverole, avoine et orge) en deux modes de semis en fonction des paramètres de composantes des rendements (PCR)(NGE : nombre de graines/épi , RDT : rendement en graines, EUE g : efficacité de l'utilisation de l'eau des graines, PMG : poids de milles graines, PS : Poids spécifiques et Pro : taux de protéines)
PCR : Variable d'analyse des paramètres des composantes de rendements
Variables supplémentaires : CA : campagnes agricoles ; PC : précédent cultural ; MS : mode de semis

4. Conclusion

Cette étude a pour objectif d'enrichir les résultats de la recherche qui entoure la polémique sur l'utilité du semis direct en céréaliculture dans les régions du nord ouest tunisien et le rôle que peut jouer en fonction des précédents culturaux et du temps. L'effet précédent cultural est corrélé avec le mode de semis ; le semis direct ne peut être significatif en hauteur qu'avec la féverole, aussi, pour la surface foliaire, l'effet précédent cultural améliore ce paramètre mieux que le mode de semis. L'efficacité de l'utilisation de l'eau biologique (paille et graines), donne de meilleurs résultats avec l'avoine comme précédent cultural, alors que le semis direct provoque sa diminution au cours des campagnes culturales. Pour les composantes de rendement, une légère différence est remarquable en faveur du semis direct par rapport au semis conventionnel. Cependant, les l'avoine et la féverole sont les meilleurs précédents pour améliorer ces paramètres quelques soit le mode de semis principalement pour le rendement et le nombre de graine/épi. Pour le poids de mille graines, le précédent légumineuse

influence positivement ce paramètre. Les analyses statistiques ont montré aussi que l'effet précédent cultural est très significative sur la teneur en protéines surtout avec les légumineuses en semis direct. Donc, l'effet semis direct corrélé avec l'effet précédent légumineuse en premier lieu et avoine en second lieu peuvent dans certaines conditions climatiques caractérisées par les faibles pluviométriques deviennent efficaces et améliorantes pour les paramètres de croissance et des composantes de rendements du blé dur.

5. Références bibliographiques :

- Angar H., S. Ben Haj, M. Benhammouda. (2011).** Semis direct et semis conventionnel en Tunisie: les résultats agronomiques de 10 ans de comparaison. *Options Méditerranéennes* **96** :P 53-59 .
- Assem N., El Hafid L, Benyounes H, El Atmani K.(2006).** Effets du stress hydrique appliqué au stade trois feuilles sur le rendement en grains de Dix variétés de blé cultivées au Maroc oriental. Article scientifique Sécheresse 2006 ; 17 (4) : 499-505.
- Belkharouch H., Fellah S, Bouzerzour H, Benmahammed A, Chellal N.(2009).** Vigueur de croissance, translocation et rendement en grains du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi arides. Courrier du Savoir – N°09, Mars 2009. P 17-24
- Bellague D., Chedjaret A., Khedim A., Khelifi H., M'Hamdi Bouzina M., Merabet B., Laouar M., Abdelguerifi A.2010.** Comportement et efficacité de l'utilisation de l'eau de quelques cultivars de luzerne pérenne dans les régions semi aride en Algérie. Revue Agriculture. Université Chlef. INRA Alger.
- Ben Jeddi F. (2004).** Présentation des caractéristiques biologiques et agronomiques du Sulla du Nord Bikra 21. Sidi Thabet, Avril 2004.,
- Ben Jeddi, F. (2005).** *Hedysarum coronarium* L. Variation génétique, création variétale et utilisation dans des rotations tunisiennes. Thèse de doctorat. Faculté des Sciences en Bio ingénierie. Gent Belgique, 203 p.
- Ben Naceur M., Naily M ., Selmi M. (1999).** Effet d'un déficit hydrique, survenant à différents stades de développement du blé dur sur l'humidité du sol, la physiologie de la plante et sur les composantes du rendement. Articles scientifiques. MEDIT W 2/99.
- Benzarti Z.(2009).** Contribution à l'utilisation de l'indice de nutrition azotée (INN) et des valeurs chlorophyllométriques (SPAD) pour la gestion de la fertilisation azotée du blé dur. Mémoire de Master. Institut national agronomique de Tunis. P40-60.
- Bouajila K., BEN JEDDI F., SANAA M.(2013).** Valorisation des terres en pente par le sulla du nord (*Hedysarum Coronarium* L.) en condition du semis direct et conventionnel. Journal of Agriculture and Environment for International Development – JAEID. 2013, 107 (1): 33 - 43
- Bouchenafa N., Oulbachir K., Kouadria M.(2014).** Effets du travail du sol sur le comportement physique et biologique d'un sol sous une culture de lentille (*Lens Exculenta*) dans la région de Tiaret Algérie. European Scientific Journal January 2014 edition vol.10, No.3 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431.
- Centre Technique des Céréales.(2007).** Rapport annuel des résultats des expériences appliquées de la campagne agricole 2006-2007. Projet d'appui à l'agriculture de conservation. Centre Technique des Céréales .B P 120. 8170 – BOUSSALEM.
- Chennafi H., Saci A., Harkati N., Fellahi N., Hannachi A. Et Fellafi Z.(2011).** Le blé dur (*Triticum durum* Desf.) Sous l'effet des façons culturales en environnement semi-aride. Revue Agriculture n°2.2011.P42-51.
- Cooper, P.J.M., Gregory, P.J., Tully, D., and Harris H.C. (1987).** Improving water use efficiency of annual crops in the rainfed farming systems of West Asia and North Africa. Experimental Agriculture, Farming Systems series-5, 23: 113-158.
- Fellahi Z.1, Hannachi A., Chennafi H., Makhoulf M., Bouzerzour H.(2013).** Effets des résidus et du travail du sol sur la production de la biomasse et le rendement du blé dur (*Triticum Durum* Desf., variété MBB) en lien avec l'utilisation de l'eau dans les conditions semi-arides des hautes plaines Sétifiennes. Revue agriculture. 06 (2013) 03 – 11. Revue semestrielle – Université Ferhat Abbas Sétif 1.
- Gregory, P.J.; Simmonds, L.P. and Pilbean, C.J. (2000).** Soil type, climatic regime, and the response of water use efficiency to crop management. Agronomy Journal, 92: 814-820.
- ISTA. 1999.** International rules for seed testing rules. Seed Science and Technology. 27, 333p.
- Latiri-Souki K, Aubry C., Dor'e T., Sebillotte M. (1992).** Elaboration du rendement du blé dur en conditions semi-arides en Tunisie : relations entre composantes du rendement sous différents régimes de nutrition azotée et hydrique. Agronomie, EDP Sciences, 1992, 12 (1), pp.31-43.
- Majdoub A., Mehouchi M., Yahyaoui A . et Rahmani L . (1994).** Chemical composition and nutritive value of three Barley cultivars Grown Under the semi-arid conditions of northwestern Tunisia. Rachis, vol. 13(1/2): 15-19.
- Melki M., Samaali S., Mechri M., Saidi W.(2015).** Étude qualitative et quantitative de la production du blé dur (*Triticum durum* Desf.) conduit sous différentes modalités de fractionnement de nitrate d'ammonium. Journal of New Science. Volume 20(6). Published august, 01, 2015 www.jnsiences.org ISSN 2286-5314

- Mellouli H J., Ben Naceur M., El Felah M., El Gharbi M S., M. Kaabia M., Nahdi H., Slafer G S., Karrou M.(2005).** Efficience de l'utilisation de l'eau chez le blé et l'orge sous différents régimes hydriques et de fertilisation azotée dans des conditions subhumides de Tunisie. Bari : CIHEAM .Options Méditerranéennes : Série B. Etudes et Recherches; n. 56 Vol.I. 2007.P 179- 189.
- Mouelhi B.(2004).** Simplification du travail du sol dans un système de rotation de culture de blé dur (*Triticum durum* Desf.) variété « Karim » et Sulla du Nord « *Hedysaru Coronarum* L. » Bikra 21. Projet de fin d'étude. Institut national agronomique de Tunis. P 20 -40.
- Nedjem k. (2012).** Contribution a l'étude des effets du semis direct sur l'efficience d'utilisation de l'eau et le comportement variétal de la culture de blé en région semi-aride. Mémoire de Master. Département des Sciences Agronomiques. Université Ferhat Abbas Sétif. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. P 49-94.
- Opoku ,G., Voyn,T.J., and Voroney, R.P.(1997).** Wheat straw placement effects on total phenolic compounds in soil and corn seeding growth. Canadian journal of Plant Science. 77(3):301-305
- Ouanzar S (2012).** Etude comparative de l'effet du semis direct et du labour conventionnel sur le comportement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) Mémoire de Master. Département des Sciences Agronomiques. Université Ferhat Abbas Sétif. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. P 30-58.
- Rezgui M.(2014).** Contribution de la rotation des cultures dans l'amélioration de la fertilité du sol et le rendement des céréales et des légumineuses à graines. Journée Nationale sur la valorisation des Résultats de la Recherche dans le Domaine des Grandes Cultures Tunis, le 17 avril 2014.
- Sakouhi R.(2012).** Dynamique de l'Azote dans le système de semis direct et conséquence sur la fertilisation du blé dur en agriculture de conservation basée sur le semis direct. Mémoire de Master. Institut national agronomique de Tunis.P 49-65.
- Sayar R., Khemira H., Bchini H., Bensalem M., Mosbah M., Nhadi H. (2007).** Utilisation des composantes de rendement comme outils d'évaluation de la productivité chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) en irrigué et en pluvial : Une approche otogenique. Revue de l'INGREF.2007.
- Sleutel S., De Neve S. & Hofmann G., (2003).** Estimates of carbon stock changes in Belgian cropland. Soil Use Manage., Vol.19 : 166-171.
- Slim S.(2012).** Les systèmes fourragers des zones montagneuses: contraintes et intérêts des fabacées dans la fixation des sols et l'accroissement des ressources herbagères des petites exploitations. Mémoire de thèse de doctorat en sciences agronomiques. Institut national agronomique de Tunis. P99.
- Yangui M. (2012).** Comportement d'une collection de blé dur autochtone *Triticum durum* Desf. en double exploitation fourrage/grains. Mémoire de Master. Institut national agronomique de Tunis. P51-99
- Zouaghi M., (2004).** Techniques d'exploitation et de conservation du Sulla Bikra 21. Ministère de l'Agriculture et de l'Environnement. Séminaire de formation. Zaghuan, Mai 2004.
- Zwart, S.J. and Bastiaansen W.G.M. (2004).** Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. Agricultural Water Management Journal, 69: 115-133