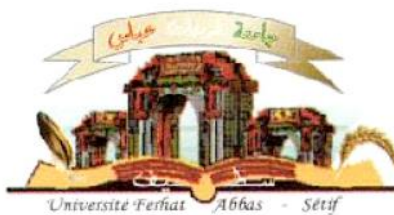


الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

UNIVERSITE FERHAT ABBAS SETIF
FACULTE DES SCIENCES DE LA
NATURE ET DE LA VIE



جامعة فرحات عباس، سطيف
كلية علوم الطبيعة و الحياة

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

N°...../SNV/2012

MÉMOIRE

Présenté par : **TOUAHRIA Omar**

Pour obtenir le diplôme de **Magister**

Option : Production Végétale et Agriculture de Conservation

THÈME

Effets des résidus et du non-labour sur le comportement de la céréale sous conditions semi-arides des hautes plaines orientales.

Soutenu publiquement, le : 01/07/2012

DEVANT LE JURY

PRESIDENT	KRIBAA Mohamed	Pr. FAC SNV.UFA. Sétif
RAPPORTEUR	BOUZERZOUR Hamenna	Pr.FAC SNV. UFA. Sétif
EXAMINATEUR	FENNI Mohamed	Pr. FAC SNV.UFA. Sétif
EXAMINATEUR	BENMAHAMMED Amar	Pr. FAC SNV. UFA. Sétif

Année universitaire 2011/2012

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

«قُلْ إِنْ صَلَّيْتُ وَنَسِيتُ

وَمَحْيَايَ وَمَمَاتِي لِلَّهِ رَبِّ

الْعَالَمِينَ ۝ لَا شَرِيكَ لَهُ وَبِذَلِكَ

أُحَرِّتُ وَأَنَا أَوَّلُ الْمُسْلِمِينَ»

صدق الله العظيم

Dédicace

Je dois commencer pour vous dire que c'est grâce à tous les sacrifices et à tous les efforts moraux et économiques de ma mère TAHIAH Yamna et mon Père TOUAHRIA Ali que j'ai eu la chance de pouvoir poursuivre mes études. Ce sont eux qui ont marqué mon avenir d'une manière radicale, et donc mon première dédicace est pour eux,

Après je dédie ce travail à :

À la mémoire de ma grande mère Toumia et mon tonton Saâd.

À ma tante : Lamria.

À mes frère .

À mes sœur .

À toute ma famille Touahria.

À ma promotion de magister 2009/2012.

À mes cher amis : Nabil et Ameer.

Remerciements

Louange à DIEU, le tout puissant, pour la volonté, la santé et la patience qu'il m'a donné durant toutes ces années d'études et notamment celles de l'obtention du diplôme de magister en agronomie Option« Production Végétale et Agriculture de Conservation »,

J'exprime mes plus vifs remerciements:

- *A monsieur BOUZERZOUR Hamenna, mon encadreur qui m'a accordé sa confiance et sa grande patience, et a accepté de me guider dans mon travail.*
- *Au Pr. KRIBAA Mohamed qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de mon jury de mémoire, qu'il trouve ici mes sincères remerciements et l'expression de mon profond respect.*
- *Aux Pr. BENMAHAMMED Amar et FENNI Mohamed, qui m'ont fait honneur d'évaluer mon travail, qu'ils acceptent l'expression de ma gratitude et mon profond respect.*
- *Aux personnels d'ITGC et de l'INRAA de Sétif, plus particulièrement Messieurs HANNACHI Abderrahmane, FELLACHI Zine-El-Abidine et M^{elle} MASMOUDI pour l'aide qu'ils m'ont apporté à un moment ou à un autre au cours de la réalisation de ce mémoire.*

Omar TOUAHRIA

INTRODUCTION	1
CHAPITRE I. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	2
1. Conduite de la céréale sur les hautes plaines orientales d’Algérie.....	2
2. L’agriculture de conservation.....	4
3. Le semis direct ou la technique de non labour.....	4
4. Les propriétés du sol en semis direct.....	5
5. L’humidité du sol en semis direct.....	9
6. Le comportement de la céréale en semis direct.....	11
CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES	14
1. Le site expérimental.....	14
2. Matériel aratoire.....	14
3. Matériel végétale.....	14
4. Dispositif expérimental.....	15
5. Notations.....	16
CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION	21
1. Pluies et températures des trois dernières années enregistrées sur le site	21
2. Installation de la culture	22
3. Performances du blé.....	24
3.1. Le rendement en grain.....	24
3.2. Les composantes du rendement.....	27
3.3. Biomasse aérienne, paille, hauteur de la végétation, indice de récolte et rendement économique	29
4. Cinétique d’accumulation de la biomasse aérienne.....	31
5. La teneur relative en eau des feuilles.....	32
6. Humidité du sol, évaporation et transpiration du végétal.....	34
7. Efficience d’utilisation de l’eau.....	38
8. Efficience comparée de stockage de l’humidité sous jachères chimique et travaillée	40
9. Densité apparente, taux de la matière organique et d’infiltration de l’eau dans lesol	41
SYNTHESE GENERALE	45
CONCLUSION	48
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	49
ANNEXES	

Liste des abréviations

Abréviation	Signification
*	significatif au seuil de 5 % selon le contraste.
**	significatif au seuil 1% selon le contraste.
BIO :	biomasse total produite.
C :	carbone.
C° :	température de degré Celsius.
CDSR :	Centre de développement sous régional pour l’Afrique du Nord.
CGCSS :	compagnie genevoise des colonies suisses de Sétif.
CH ₄ :	le méthane
cm ³ :	centimètre cube.
CO ₂ :	le dioxyde de carbone
Da :	densité apparente.
E :	évaporation.
ETP :	évapotranspiration
EU :	la quantité d’eau utilisée par la culture
EUE :	efficience d’utilisation d’eau.
F :	probabilité.
G :	gramme.
G m ² :	gramme par mètre carré.
GES :	gaz à effet serre.
H :	profondeur de l’horizon en mm.
H% :	humidité pondérale du sol.
H ₂ O :	eau consommé par la culture.
Ha :	hectare.
HI :	indice de récolte.
HPF :	humidité du sol au point de flétrissement.
HR :	humidités résiduelles à la récolte.
HS :	humidités résiduelles au semis.
HT :	hauteur de végétation.
INRAA :	Institut national de la recherche agronomique.
ITGC :	Institut technique des grandes cultures.
IPCC :	Intergovernmental Panel on Climate Change.

JC 00 %:	jachère chimique à 00 % de paille.
JC 30 %:	jachère chimique à 30 % de paille.
JC 60 %:	jachère chimique à 60 % de paille.
JW :	jachère intégrale
Kg :	kilogramme.
L ha ⁻¹ :	litre par hectare.
LC :	labour conventionnel
m ⁻² :	mètre carré.
Mm :	précipitations en millimètres.
Mm /h :	taux infiltration en millimètres par heures.
MO :	matière organique.
N ₂ O :	protoxyde d'azote.
NE :	nombre d'épis par mètre carré.
NGE :	nombre de grains par épis.
NGM ² :	nombre de grains par mètre carré.
NL :	non labour.
Ns :	non significatif.
P :	poids en gramme.
P :	précipitations.
PF :	Poids frais.
PLL :	rendement en paille.
PMG :	poids de milles grains.
PS :	poids sec.
PT :	poids turgide.
R ² :	coefficient de régression.
Rdt :	rendement en grains.
RDTéco :	rendement économique.
NL 00% :	non labour à 00 % de paille.
LN30% :	non labour à 30 % de paille.
NL60% :	non labour à 60 % de paille.
T :	transpiration.
V :	volume en centimètre cube.

Liste des figures

N°	Intitulé	Page
Fig.1.	Pluviométrie et températures, moyennes des 12 dernières années et des deux dernières campagnes enregistrées sur le site ITGC Sétif.....	20
Fig.2.	Variation relative du rendement grain du non labour comparativement à celui du labour conventionnel et effet du taux des résidus de couverture du sol.....	24
Fig.3.	Différences relatives entre les performances du non labour (NL) comparativement au labour conventionnel pour les épis m ⁻² (NE), le poids de 1000 grains (PMG), les nombres de grains par m ² (NGM ²) et par épi (NGE), et effet du taux de résidus.....	26
Fig.4.	Différences relatives entre les performances du non labour (NL) comparativement au labour conventionnel pour la biomasse aérienne (BIO), la paille (PLL), le rendement économique (RDTéco), la hauteur (HT) et l'indice de récolte (HI) et effet du taux de résidus.....	28
Fig.5.	Cinétique d'évolution de la biomasse aérienne du blé dur en labour conventionnel et non labour.....	30
Fig.6.	Cinétique d'évolution de la biomasse aérienne du blé dur sous non labour avec différents taux de résidus de couverture du sol.....	30
Fig.7.	Variation de la teneur relative en eau des feuilles du blé au cours de la culture chez les différents traitements.....	31
Fig.8.	Evolution de l'humidité du sol sous culture de blé mise en place après labour conventionnel et non labour.....	32
Fig.9.	Evolution de l'humidité du sol sous culture de blé dur mise en place en non labour avec différents taux de résidus de couverture du sol.....	32
Fig.10.	Répartition de l'évapotranspiration entre la transpiration (T) et l'évaporation (E) selon les systèmes de labours et le taux de couverture du sol par les résidus.....	35
Fig.11.	Evolution de l'humidité du sol sous jachère travaillée et jachère chimique dont le sol est couvert avec différents taux de résidus.....	37

Liste des photos

N°	Intitulé	Page
Photo 1.	Vergerette du Canada (Horseweed, <i>Conyza Canadensis</i>) développant de la résistance, suite à la sur utilisation des herbicides totaux.....	12
Photo. 2.	Charrue à disque et semoir utilisés.....	15
Photos 3.	Mesure de la perméabilité du sol en, plein champ et laboratoire après saturation.....	18

Liste des tableaux

N°	Intitulé	Page
Tab.1.	Valeurs moyennes des variables mesurées des différents traitements étudiés. (gr/m ²).....	24
Tab.2.	Evapotranspiration (ET, mm), transpiration (T, %) et évaporation (E, %), avec $ET = T + E$	34
Tab.3.	Efficacité d'utilisation de l'eau pour produire du grain et de la biomasse Aérienne.....	36
Tab.4.	Valeurs moyennes des variables mesurées des différents traitements étudiés...	38

Résumé. L'expérimentation a été réalisée à la Station Expérimentale Agricole de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) de Sétif au cours de la campagne 2010/11. L'objectif est d'évaluer le comportement de la variété de blé dur (*Triticum durum* Desf.) Boussalem en semis direct comparativement au semis conventionnel. Quatre traitements ont été étudiés : semis après labour conventionnel et semis direct avec 0, 30 et 60% de résidus. Le suivi de l'humidité stockée par la jachère travaillée et de la jachère chimique avec 0, 30 et 60% de résidus a été fait en parallèle. Les résultats indiquent que le semis direct améliore l'installation de la culture. Le rendement grain, les composantes du rendement, la biomasse accumulée, le rendement en paille sont significativement plus élevés en semis direct qu'en semis conventionnel. Peu de différences apparaissent entre les deux systèmes et entre les différents taux de résidus pour l'évolution de l'humidité des 40 cm du sol. A la fin du cycle l'humidité du sol atteint le point de flétrissement sous les deux conduites. La part de l'humidité transpirée par la végétation est plus importante en présence des résidus. Ceci conduit à une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau pour produire le grain et la biomasse. L'humidité stockée par la jachère travaillée est plus élevée que celle stockée par la jachère chimique tout le long du cycle et pour les 40 premiers cm du sol. En fin de cycle une grande partie de l'humidité stockée est perdue par évaporation. Les résultats de la présente étude suggèrent que le non labour pourrait être une alternative viable pour intensifier la production du blé dur sous les conditions semi-arides des hautes plaines orientales.

Mots clés : semis direct, semi-aride, blé dur, labour conventionnel, efficacité utilisation eau, rendement

Abstract. The experiment was conducted at the Agricultural Experimental Station of the Field Crop Institute of Setif during the 2010/11 cropping season. The objective was to evaluate the performance of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar Boussalem under no till and moldboard plow. Four treatments were investigated: sowing after conventional tillage and direct drilling with 0, 30 and 60% residues. Humidity storage in plowed and chemical fallows was determined in parallel. The results indicated that direct drilling improved crop establishment, yield, yield components, accumulated biomass, straw yield which were significantly higher under no till compared to conventional tillage. No significant differences appeared between the two systems and between crop residue rates for soil humidity trend of the 40 cm. By the end of the crop cycle, soil humidity reached the wilting point for both tillage treatments. Part of the humidity transpired by the crop was relatively higher under residue cover. This resulted in higher water use efficiency for grain and biomass. However soil humidity stored in tilled fallow was higher than the one stored in the chemical fallow, during the crop cycle, and in the 40 cm soil profile. By the end of the crop cycle most of the stored soil humidity was lost through evaporation. The results of this study suggested that no till could be a viable alternative for intensifying durum wheat production under semi-arid conditions of the eastern high plains.

KeyWords : Direct drilling, semi-arid, durum wheat, conventional tillage, water use efficiency, grain yield

المخلص : أجريت هذه التجربة في المعهد الوطني للمحاصيل الكبرى بسطيف خلال الموسم الزراعي 2010/2011 . الهدف من هذه التجربة هو تقييم سلوك القمح الصلب صنف بوسلام مزروعة بطريقة الزرع المباشر مقارنة بالزرع التقليدي. تم إجراء التجربة في أربع معاملات: زرع مباشر بعد الحراثة التقليدية، و زرع مباشر مع 0، 30 و 60 % من بقايا المحاصيل. تم أيضا تتبع رطوبة التربة في الأرض البور المحروثة و المعاملة كيميائيا بثلاث نسب أيضا (0 ، 30 ، 60 %) . الدراسة ان الزرع المباشر يحسن نمو المحصول، و فيما يخص مردود الحب، الكتلة الحيوية، انتاج التبن بينت النتائج تفوق الزرع المباشر على الزرع التقليدي . سجلت عدم وجود فوارق فيما يخص نسبة رطوبة التربة على عمق 40 سم. و هذا يرجع اساسا الى احسن فعالية استغلال الماء في انتاج الحب و الكتلة الحيوية. تشير نتائج عملية النتج الى اهمية بقايا المحاصيل على الارض. كما بينت النتائج ان نسبة الرطوبة في الارض البور المحروثة اكبر منها في المعاملة كيميائيا , وذلك خلال جميع مراحل التجربة . اثبتت النتائج تبخر نسبة كبيرة من رطوبة الحب تحت المناخ شبه الجاف للهضاب العليا الشرقية.

الكلمات الرامزة : زرع مباشر، زرع التقليدي، فعالية استعمال الماء، الانتاجية

Introduction

INTRODUCTION

Les ressources en eau dans le monde sont très limitées, elles deviennent de plus en plus rares, créant des sécheresses en raison du changement climatique particulièrement dans la région méditerranéenne. La manque d'eau est considéré comme la plus grande contrainte environnementale de la croissance des plantes et leur survie dans les écosystèmes méditerranéens (Jeroni *et al.*, (2007). En Algérie, l'eau est le principal facteur limitant la production des céréales sur les hautes plaines orientales. Au cours du cycle la culture, le caractère intermittent de la pluviométrie associé à la demande climatique élevée du milieu engendrent le stress hydrique avec des conséquences négatives sur le potentiel et la régularité des rendements. Tout gain d'humidité réalisé, suite à une meilleure gestion de la culture, du précédent cultural ou du travail du sol, est important parce qu'il peut générer d'appréciables augmentations des rendements (Chenaffi *et al* , 2006).

Sur les hautes plaines orientales, la recherche d'une meilleure productivité s'est faite par l'intensification des systèmes de production, intensification qui s'est matérialisée sous forme d'inputs exogènes et d'une production minière des sols (Lahmar et Bouzerzour, 2011). Ce mode de production se caractérise par la variation, d'une année à l'autre, des niveaux de production et assure, par conséquences, des revenus très irréguliers. Il retourne au sol peu de matière organique comparativement à ce qu'il exporte, et en plus ne protège pas la surface du sol des effets agressifs de l'eau et du vent. Il cause, à long terme, de nombreux effets négatifs sur le sol, l'eau et l'environnement (Heddadj *et al.*, 2005).

L'abandon du labour se présente comme une alternative susceptible de freiner la détérioration du milieu, avec la possibilité de reconstruire, peu à peu, ce qui a été défait et d'assurer ainsi la durabilité des systèmes de production (Derpsh, 1998). En effet le non labour est présenté comme un système avantageux qui réduit à long terme des effets du déficit hydrique, des charges de mise en place de la culture. Il protège en plus le sol et conserve l'humidité tout en augmentant la matière organique du sol. Il améliore la performance des cultures et réduit des émissions du gaz carbonique (Mrabet, 2011). Le présent travail se fixe pour objectif l'étude de l'effet des résidus et du non labour sur le comportement de la céréale sous conditions semi-arides des hautes plaines orientales.

Revue
Bibliographique

CHAPITRE I. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Conduite de la céréale sur les hautes plaines orientales d'Algérie

Les sols qui supportent la culture des céréales sur les hautes plaines sont variables. Ils sont argileux, faiblement carbonatés, de couleur noirs, dans la zone nord, devant peu à peu dominés par le calcaire en allant vers le sud. On rencontre, en lien avec le réseau hydrographique, des sols bruns, profonds, relativement bien structurés en profondeur (Lahmar et Bouzerzour, 2011). Ces sols se caractérisent généralement par une structure de surface fragile et de faibles taux de matière organique de la couche travaillée (Batouche et Labiod, 1991).

La céréaliculture associée à l'élevage ovin semble avoir été de tout temps, la principale activité agricole des hautes plaines (Hakimi, 1993, Benniou et Louhichi, 2006). Le système de culture est basé sur une rotation céréales -jachère (Abbas et Abdelguerfi, 2005). La jachère est pratiquée sous diverses formes : jachère intégrale, jachère pâturée, et jachère fauchée. Le système blé - jachère travaillée, inspiré du dry-farming est pratiqué surtout en zones nord et centre, qui sont relativement plus pluvieuses, offrant ainsi plus de sécurité et de régularité en matière de rendement grain (Djenane, 1997, Lahmar et Bouzerzour, 2011).

La jachère intégrale a été introduite en Algérie, et notamment sur les hautes plaines de Sétif au cours des années 1890, suite aux succès attribués au dry farming. Cette technique a été mise au point et vulgarisée par un agriculteur américain de Dakota du Sud, du nom de Hardy Webster Campbell (Bernard, 1911). Dans les zones sujettes à des déficits hydriques variables et souvent intenses, où l'eau devient le principal facteur limitant la production des céréales, la technique du dry farming propose de faire une production de blé avec les pluies de deux années (Bernard, 1911). La pluie infiltrée, lors de l'année de la jachère durant laquelle le sol n'est pas cultivé mais travaillé, est maintenue dans le profil par un mulch de terre qui l'empêche de s'évaporer (Bernard, 1911).

L'itinéraire technique du travail de la jachère consiste en un déchaumage après la récolte du blé, pour incorporer les chaumes. Un labour profond est fait vers le mois de novembre pour ouvrir le sol aux pluies, suivi d'une série de passages croisés du covercrop, destinée à créer un mulch terreux en surface et à limiter l'infestation des adventices (Lahmar et Bouzerzour, 2011). Le succès du transfert d'eau d'une année à l'autre est étroitement lié à

l'intensité de la sécheresse estivale et à la minutie de réalisation des techniques culturales appliquées à la jachère travaillée (Sébillotte, 1985).

La technique du dry-farming a été introduite dans la région de Sétif par un ingénieur agronome suisse, du nom de Gottlieb Ryf, qui dirigeait la Compagnie genevoise des colonies suisses de Sétif (CGCSS) (Lahmar et Bouzerzour, 2011). Sur les hautes plaines Sétifiennes, la jachère pâturée était une pratique connue depuis très longtemps, sa reconversion en une jachère travaillée n'était alors qu'une question de moyens techniques ; qui furent trouvés dans l'introduction de la charrue à soc et le tracteur (Bennoune, 1988 ; Lüzelschwab, 2007).

L'adoption de cette technologie fut cependant critiquée, parce que la hausse des rendements des premières années de mise en place est plutôt due à l'exploitation minière des sols céréaliers et à l'effet de la minéralisation de la matière organique qu'à l'effet du transfert d'eau (Sébillotte, 1985). En effet le transfert de l'eau de la jachère à la céréale qui suit, est un sujet de controverses. Sébillotte (1985) remet en cause l'efficacité de la jachère. La même conclusion est atteinte par McAneney et Arrüe (1993) qui mentionnent que la jachère travaillée transfère peu d'eau à la culture de céréale qui suit.

Le dry farming, à long terme, réduit la fertilité des sols et les expose à l'érosion, sans pour autant enregistrer de hauts rendements (Lahmar et Arrüe, 2007). L'agriculture de conservation combine la couverture du sol, le non labour ou le travail réduit et la rotation des cultures. Elle se présente comme un moyen d'améliorer, voire de stabiliser les productions agricoles et de minimiser la dégradation des sols des hautes plaines orientales (Mrabet, 2011 ; Chenaffi et *al.*, 2011).

La restauration de la qualité du sol et la gestion durable des terres, qui doivent se réaliser parallèlement, ne peuvent être résolues par une modification technique mais plutôt à travers l'adoption d'une stratégie entièrement nouvelle qui embrasse tous les aspects du problème et considère tous les constituants d'un développement agricole durable (Heddadj *et al.*, 2005). Il faut que la stratégie envisagée prenne en compte des solutions écologiques, alimentaires, économiques et sociales. A travers le monde émerge une initiative qui propose de renverser le processus actuel de dégradation des sols pour améliorer progressivement la production et préserver l'environnement : c'est l'agriculture de conservation. Celle-ci doit reposer sur la suppression du labour et la protection du sol par une couverture végétale

constituée de résidus morts ou vivants. L'adoption de cette agriculture peut contribuer à la durabilité des systèmes agricoles de l'Afrique du Nord, selon Mrabet, (2001).

II. L'agriculture de conservation

Selon Lal (1983), l'agriculture de conservation est une sérieuse alternative capable de limiter de la dégradation de l'environnement et de restaurer la productivité des sols. En effet, un intérêt croissant s'est fait sentir, récemment, pour le système de labour de conservation en réponse au besoin de limiter l'érosion et promouvoir la conservation de l'eau (Unger et *al.*, 1988). Par définition, le labour de conservation recouvre les systèmes de production qui intègrent la gestion des résidus en surface du sol (Unger et *al.*, 1988). C'est, en somme, toute technique culturale qui préserve au moins 30% des résidus en surface du sol, soit l'équivalent de 1120 kg ha⁻¹, après semis pour contrôler l'érosion hydrique et éolienne. (Unger et *al.*, 1988).

Le non labour, le labour minimum, le labour réduit et le labour sous paillis ou mulch sont des termes synonymes qui désignent le labour de conservation (Unger, 1990). Selon Lal (1983), le système de non labour associé à la préservation des résidus en surface du sol semé constituent la base de l'agriculture de conservation. Ce système conserve l'eau, limite l'érosion et maintient la matière organique à un taux acceptable, ce qui assure la durabilité des agrosystèmes. En plus de ces avantages, ce système se caractérise par un investissement moins élevé en machinerie et moins de temps, donc économie d'énergie, pour la mise en place de la culture (Lal, 1983).

III. Le semis direct ou la technique de non labour

Le semis direct est un système de culture basé sur le non labour, la pratique du mulch végétal et des rotations entre la plante cultivée et une ou plusieurs plantes de couverture. Selon Derpsh (1998) la pratique du semis direct n'est pas un concept nouveau, puisque l'Egypte ancienne et les Incas de l'Amérique du Sud ont déjà été adoptés des formes primitives de ce système de culture. La grande érosion éolienne des années 1930, aux USA, associée à la découverte des herbicides totaux de contact, tels que le paraquat et le diquat, ont contribuées grandement à l'émergence des formes modernes du semis direct. En Europe, les premières recherches sur le semis direct ont été menées en Grande Bretagne, avec la découverte du paraquat. En France, les premières expérimentations sur le semis direct ont été

prises en place en 1970. En Espagne, c'est à partir 1982, que les premières recherches ont été effectuées (Lahmar et Arrüe, 2007).

Les techniques sans labour se sont développées de manière importante dans le monde durant les quarante dernières années. Adopté au Brésil par la grande culture, vers les années 1970, pour son coût de production réduit, le système de semis direct connaît une évolution importante. Depuis les années 1980, le semis direct commence peu à peu à s'installer dans les petites exploitations agricoles en Afrique et en Asie. Actuellement le semis direct est largement pratiqué aux Etats-Unis, au Brésil et en Argentine. D'une manière générale, les raisons invoquées pour l'adoption de ce système de culture sont en premier lieu le gain de temps et la réduction des charges de mécanisation (Heddadj et *al.*, 2005).

En face d'un double défi de concilier la production et la protection de l'environnement, le semis direct a connu un développement technologique remarquable au cours du temps. Ce développement technologique a concerné la gestion des résidus à la récolte et au moment du semis (distribution spatiale des résidus), l'implantation des cultures (profondeur du semis, contact sol-semence, conditions de germination et de levée), fertilisation de fond (positionnement des engrais) et les pratiques de désherbage (type d'herbicide, dose et application) (Mrabet et Bourarach, 2001).

La découverte des herbicides de contact (paraquat et diquat) et leur disponibilité sur le marché ont permis de remettre en question les objectifs assignés au labour, particulièrement le contrôle des adventices. La fabrication, en 1961, par la firme Allis-Chalmers, du premier semoir pour semis direct en traction motorisée a favorisé les recherches sur l'agriculture de conservation. Un semoir semis direct est généralement composé de trois types d'organes: organes ouvreurs ou coutres, organes semeurs et roues tasseuses. Les roues tasseuses ont pour rôles de fermer le sillon, limiter la profondeur de semis et améliorer le contact sol-graine. Ce sont les éléments de finition du lit de semis. Les coutres coupent, ouvrent le sol, dégagent les résidus et aident au travail des organes semeurs et au placement des engrais.

IV. Les propriétés du sol en semis direct

Selon Labreuche et *al.*, (2007), le sol est défini comme étant la couche supérieure de la croûte terrestre. C'est une ressource essentielle constituée de particules minérales, de matières organiques, d'eau, d'air et d'organismes vivants. C'est un milieu extrêmement complexe, à

l'interface entre la terre, l'air (atmosphère) et l'eau (hydrosphère). Le sol remplit une multitude de fonctions environnementales, économiques, sociales et culturelles essentielles à la vie, dont entre autres :

- La production d'aliments et de biomasse, vu que les cultures ont besoin du sol pour leur approvisionnement en eau et en éléments nutritifs et pour fixer leurs racines.
- Le stockage, la filtration et la transformation, vu que l'assemblage des constituants organiques et minéraux du sol lui confèrent un large éventail de propriétés physiques, chimiques et biologiques le rendant apte à stocker, filtrer et transformer l'eau, les minéraux, les gaz, et également une multitude de substances chimiques et organiques.
- L'habitat et le pool génétique, vu qu'il est l'habitat d'une variété immense d'organismes vivant dans et sur le sol, possédant tous des caractéristiques génétiques uniques. Il s'agit donc d'un biotope qui remplit des fonctions écologiques essentielles.

Ces fonctions sont directement affectées par l'activité agricole et donc susceptibles d'être modifiées par les techniques culturales. Le sol est essentiellement une ressource non renouvelable car les processus de formation sont extrêmement lents. Les processus de dégradation, par contre, peuvent être très rapides. Après dégradation, la capacité du sol à remplir ses fonctions est réduite. Les principales menaces pesant sur les sols sont l'érosion, la diminution de la teneur en matière organique, la contamination, l'imperméabilisation, le tassement, la diminution de la biodiversité et la salinisation. Le labour de conservation comme le non labour sont susceptibles de contrer quelques-unes de ces menaces (Labreuche et *al.*, 2007).

En Algérie, les sols sont extrêmement variés du fait de la diversité des substrats géologiques et des topographies mouvementées (Kassam, 1981). Ces sols, et surtout ceux de la région semi-aride, sont souvent très dégradés. Ils se caractérisent par une faible teneur en matière organique, une faible stabilité structurale, une forte densité apparente, une tendance à la prise de masse (Kribaa et *al.* 2001).

Selon Scopel *et al.*, (2005) le système du semis direct sous couvert végétal présente de nombreux avantages agronomiques. L'adoption de ce système permet une diminution

significative des pertes en sols et en éléments nutritifs par érosion, suite à la protection directe du sol par les résidus ou le couvert végétale. L'érosion est un phénomène naturel résultant de l'élimination des particules de sol transportées par l'eau qui ruisselle ou le vent, et qui peut être aggravé par les activités humaines.

L'érosion est influencée par différents facteurs comme la texture du sol, le climat, les successions de culture, les outils utilisés, la saison et la pente des parcelles. L'érosion conduit à une diminution de l'épaisseur du sol en place et à une altération de ses fonctions, et à terme à la disparition du sol lui-même. Elle peut également avoir des impacts négatifs en dehors de l'espace agricole, telles que les coulées de boues et les pollutions.

Le système de semis direct contribue à l'amélioration de la stabilité structurale et la porosité du sol, ce qui réduit le ruissellement et favorise l'infiltration. Le labour inversant crée directement un fractionnement de la structure du sol favorable à l'infiltration. Le fractionnement est plus ou moins pérenne selon les contextes pédoclimatiques (Heddadj *et al.*, 2005). Avec le système de semis direct et les techniques de labours non inversantes, le fractionnement de la structure du sol est réalisé grâce à une meilleure activité biologique. En effet la macrofaune du sol n'est pas perturbée par le labour et en plus elle est stimulée par la présence des résidus de végétation en surface du sol.

Par ailleurs, la protection des sols et l'augmentation des résidus de végétation en surface contribuent également à limiter le ruissellement en semis direct (Heddadj *et al.*, 2005). Certains auteurs signalent parfois, en non-labour, le tassement du sol, une faible infiltration, et même une augmentation du ruissellement (Truman *et al.*, 2003). Cousin *et al.* (2004) rapportent également des résultats contradictoires sur l'influence du non labour sur la structure et les propriétés de transfert de l'eau dans le sol.

Des travaux récents ont permis d'améliorer la compréhension et la modélisation des processus de transfert dans les systèmes de culture sans labour, notamment sur l'effet du mulch (Heddadj *et al.*, 2005). Leur utilisation pour prédire le ruissellement dans des situations pédoclimatiques très diverses reste cependant limitée du fait principalement de la difficulté à modéliser l'évolution temporelle des états de surfaces, de la structure et des propriétés hydrodynamiques des sols cultivés (Heddadj *et al.*, 2005).

Dans le système du semis direct, l'abandon du labour a deux conséquences importantes : l'absence de retournement et de fragmentation du sol par la charrue. Selon Holland (2004), ces deux aspects ont profondément modifié le fonctionnement de l'agrosystème. Le non retournement du sol entraîne l'apparition de gradients dans la couche arable qui était auparavant mélangée par l'action de la charrue. Cela concerne en premier lieu la matière organique issue des résidus de culture, qui s'accumule en surface du sol. Cette matière organique joue un rôle très important dans la protection de la surface du sol, la stabilisation de la structure, la rétention de l'eau et des éléments minéraux et sert d'abri et de nourriture aux organismes du sol (Holland, 2004). Beaucoup de ces organismes profitent de l'absence de perturbation de leur milieu par la charrue pour intensifier leurs activités biologiques. C'est notamment le cas des vers de terre qui ont une activité accrue de création de porosité et d'enfouissement de la matière organique (Holland, 2004).

Par contre certains bio-agresseurs telles les adventices exercent une pression plus intense en l'absence de labour. En effet, en système de non labour, les adventices ne sont pas détruits et les graines ne sont pas enfouies profondément par le labour. L'absence de fragmentation du sol par la charrue, en non labour, signifie une diminution de la porosité d'origine mécanique. Ce phénomène est compensé par la porosité d'origine biologique, caractérisée par une meilleure connectivité avec des conséquences importantes sur les flux d'eau, l'activité des organismes et le comportement du sol (Holland, 2004 ; Heddadj *et al.*, 2005).

En cas d'adoption du système de semis direct, il semble nécessaire de chercher des adaptations contre les adventices, en utilisant par exemple, des plantes de couverture étouffantes ; la modification des successions de culture pour éviter une diminution exagérée de la porosité et une gestion plus dynamique de la fertilisation et des dates de semis. Ceci nécessite d'entrer dans d'un processus d'innovation continu fondé sur l'apprentissage, la connaissance et le savoir-faire pour pouvoir adapter les pratiques à l'évolution du milieu non labouré (Triomphe *et al.*, 2007).

Doran (1980) mentionne que le système de non labour présente des similitudes avec des écosystèmes pérennes tels que les parcours permanents ou les niveaux de carbone, d'azote et d'humidité sont plus élevés qu'en sol travaillé. Dans les parcours naturels, la végétation se développe, mature et meure en formant un paillis en surface du sol. Six *et al.*, (2002) mentionnent que le maintien du couvert végétal de résidus en surface du sol permet

d'augmenter la teneur en matière organique et en éléments nutritifs du sol ce qui favorise le développement de l'activité macro- et microbiologique du sol et réduit le développement des mauvaises herbes.

Outre le fait que les résidus améliorent la matière organique du sol et contribuent à la stabilité structurale, ils permettent aussi un stockage du carbone dans le sol. Selon IPCC (2001) la concentration des trois principaux gaz à effet de serre, le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4) et le protoxyde d'azote (N_2O) augmente fortement dans l'atmosphère depuis 150 ans. La concentration en CO_2 est passée de 280 à près de 367, celle du CH_4 de 700 à 1750, et celle du N_2O de 275 à 321.

Les augmentations de CO_2 dans l'atmosphère, par effet anthropique, sont largement dominantes, et participe pour plus de 60 % au potentiel de réchauffement global (IPCC, 2001). Dans ce contexte, la séquestration du carbone d'origine atmosphérique dans le sol par l'agriculture peut contribuer à la réduction du phénomène des gazes à effet de serre (GES) (IPCC, 2001). Vu que l'agriculture participe pour 34 % aux émissions des GES, le potentiel de stockage ou de séquestration de C dans le système sol-plante peut-être important à court et moyen terme (Bernoux et *al.*, 2006).

Le stockage du C dans le sol est influencé par la nature du sol de la parcelle, en particulier la texture et la minéralogie, la quantité, la qualité et la localisation des résidus et l'itinéraire technique appliqué, en particulier, la fertilisation minérale et le travail du sol (Feller et *al.*, 2001). Le labour est généralement considéré comme un facteur défavorable au stockage du C dans le sol. Il a un effet direct sur l'oxygénation du sol ce qui accélère la minéralisation de la matière organique. Il a un effet indirect sur la diminution de la stabilité des agrégats, diminution due à la dilution de la matière organique des horizons de surface par mélange avec des horizons de profondeurs plus pauvres (Bernoux et *al.*, 2006).

Six et *al.*, (2002) notent un effet positif des systèmes en semis direct sur le stockage du C dans le sol. Ces auteurs rapportent des valeurs moyennes de stockage de C de l'ordre de $0,35 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$. Bernoux et *al.*, (2006) rapportent des valeurs de stockage de C variant de 0 à $1,6 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ pour l'horizon 0-20 cm de profondeur.

V. L'humidité du sol en semis direct

Dans les environnements où la pluviométrie est inférieure à 500 mm, la production d'une culture sans le recours à l'irrigation est une pratique qui relève de l'aridoculture (Monteith, 1990). Dans ces environnements arides et semi- arides, la conservation de l'eau est un atout majeur pour les productions végétales. Le défi dans ces régions est celui de gérer la ressource en eau de la manière la plus efficace possible (Chenaffi *et al.*, 2006).

La gestion se résume à conserver et ensuite à utiliser l'eau de manière à éviter aux cultures l'effet pénalisant voire dramatique du stress hydrique. Dans ce contexte, les pratiques culturales appliquées sont réfléchies de manière à stocker le maximum des eaux pluviales et en faire l'utilisation la plus efficace pour produire plus. Pour maximiser le stockage de l'humidité, le sol doit être en conditions d'assurer l'absorption maximale lors des périodes pluvieuses et, en même temps, doit aussi limiter les pertes par évaporation. Ce souci est à l'origine de l'adoption de l'aridoculture céréalière, au début du siècle passé (Cooper *et al.*, 1987).

Tout gain d'humidité réalisé, suite à une meilleure gestion de la culture et de l'interculture a, souvent, des conséquences appréciables sur l'augmentation des rendements, à cause de la meilleure efficacité d'utilisation de l'eau qui caractérise ces conditions de production (Chenaffi *et al.*, 2006). En effet, le rendement attendu est lié à la quantité d'eau disponible et utilisable au cours du cycle de développement et à l'efficacité d'utilisation de cette eau par la culture. L'eau utilisable au cours du cycle de la culture est la somme de celle stockée au cours de la jachère, et qui est disponible au moment du semis plus la pluie enregistrée au cours du cycle, le tout déduit de l'humidité seuil qui représente le point de flétrissement (Chen *et al.*, 2003).

Ce modèle mérite d'être confirmé sous les conditions des hautes plaines orientales, suite au fait que la pluie efficace est influencée par le ruissellement et l'évaporation qui sont très variables sous les conditions semi arides. Fellahi *et al.*, (2011) notent que l'humidité disponible, après jachère chimique, pour la culture du blé suivante est de l'ordre de 16.0 mm, pour l'horizon de 40 premiers centimètres. Cette quantité représente une efficacité de la jachère de 04 % relativement au cumul des pluies de la saison considérée. Ces résultats indiquent qu'en moyenne 96% de la pluviométrie enregistrée au cours de la jachère chimique

est perdue par évaporation. Ceci informe sur l'intensité de la demande climatique du milieu où la production de la céréale est pratiquée.

Le surplus d'humidité stocké en semis direct n'est pas parfois valorisé sous forme de grain ou de paille, notamment au cours des campagnes pluvieuses. Cette absence de réponse de la culture à l'humidité du sol s'explique par l'indisponibilité de l'azote, par suite de lessivage, la présence de maladies ou une mauvaise installation de la culture. Abdellaoui et *al.*, (2006) notent qu'en fin de cycle, le blé du semis direct a laissé plus d'humidité dans le sol que le blé du système conventionnel avec des valeurs de 10.75 vs 7.19%.

VI. Le comportement de la céréale en semis direct

De nombreuses études ont abouti à des conclusions similaires : un effet positif du semis direct sur le rendement, une réduction des coûts de production et la diminution de l'érosion. Ainsi Séguy et Bouzinac (2005) rapportent une augmentation significative du rendement du soja, au bout de 15 ans de pratique du système du semis direct, au Brésil. Ces auteurs mentionnent que l'augmentation du rendement est étroitement corrélée avec la quantité du mulch disponible.

Le mulch est issu des résidus de la récolte du précédent ou de l'interculture, fournissant une importante masse végétale, implantée avant ou après la culture principale. La biomasse produite par cette interculture est desséchée par l'emploi des herbicides totaux juste avant le semis direct de la culture (Séguy et Bouzinac, 1999). Les gains de rendement obtenus sous ce système ne deviennent apparents et significatifs qu'au-delà de 5 ans de pratique. Ces auteurs notent des augmentations des rendements du maïs et d'haricot au bout de 7 ans de pratique de semis direct sous couvert végétal, au Brésil (Séguy et Bouzinac, 1999).

Des résultats contradictoires sont aussi souvent rapportés. Ainsi Abdellaoui et *al.* (2006) notent peu de différences entre le système en semis direct et celui en labour conventionnel pour les épis produits par m². Le nombre de grains par épi s'est mieux exprimé dans le système en labour conventionnel avec des poids de 1000 grains similaires, aboutissant avec une réduction du rendement du semis direct de 26%.

Al-Issa et *al.*, (2007) rapportent les résultats d'une étude conduite en Jordanie, sur orge (*Hordeum vulgare L.*) avec trois traitements : conduite conventionnelle avec labour profond à la charrue à disques, travail minimum avec le chisel et le semis direct, sur un précédent

jachère. Ces auteurs notent que le travail minimum donne les meilleurs résultats en ce qui concerne l'humidité du sol stockée et utilisée, le nombre de plants levés par m² et les rendements paille et grain. Le non labour présente une réduction du rendement grain de 50%, relativement à la performance du labour de conservation.

Selon Carr et *al.*, (2006), le gain de rendement issu de l'adoption du système de non labour est dû essentiellement au surplus d'humidité stocké sous ce système comparativement au système conventionnel, en plus de la bonne installation de la culture sous semis direct. Des études conduites au Texas montrent que le rendement du sorgho grain augmentait significativement en semis direct, de 1939 à 1997 (Unger et Baumhardt, 1999).

L'équation de régression de cette augmentation était : $Y = 50.34X - 1121.9$, où : Y est le rendement grain en kg ha⁻¹ et X est l'année de mesure. Cette équation montre une augmentation du rendement de 50.4 kg ha⁻¹ an⁻¹, sur près de 60 ans. Pour déterminer quels sont les principaux déterminants de cette augmentation du rendement, Unger et Baumhardt (1999) rassemblent les données du rendement grain de 502 expérimentations, en plus des données relatives aux précipitations annuelles, aux caractéristiques du sol, aux quantités d'eau disponibles aux semis, utilisées au cours du cycle et à l'évapotranspiration. L'analyse de la régression montre que seule l'eau disponible au semis expliquait une proportion importante de l'augmentation du rendement.

Dans le système de non labour, le contrôle des mauvaises herbes est assuré par l'utilisation du glyphosate (Roundup= N- (phosphonométhyl) glycine, C₃H₈NO₅P). Le nombre d'applications est variable selon l'intensité de l'infestation et la nature de la flore adventice. Si d'une manière générale, la flore adventice est maîtrisée, certaines expérimentations rapportent le développement de la tolérance et parfois même de la résistance à cet herbicide par certaines espèces d'adventices telle que *Conyzacandensis* (Photo 1, Barnes et *al.*, 2004).

Dans de telles situations, il est parfois nécessaire de recourir au labour avec un scarificateur à pattes d'oie, au cours de l'année de jachère, pour réduire ou éliminer l'espèce d'adventice résistante à l'herbicide utilisé. Selon Herbek et Murdock, (2006), bien conduite la céréale en semis direct produit autant que celle conduite en conventionnelle. Cependant la fertilisation azotée de la céréale en système de non labour nécessite plus d'attention. La croissance de la culture conduite en semis direct, en automne et au cours de l'hiver, est lente à

cause des basses températures. Les résidus en surface du sol immobilisent une partie de l'azoté apporté, au printemps, lorsque la température augmente favorisant la croissance.

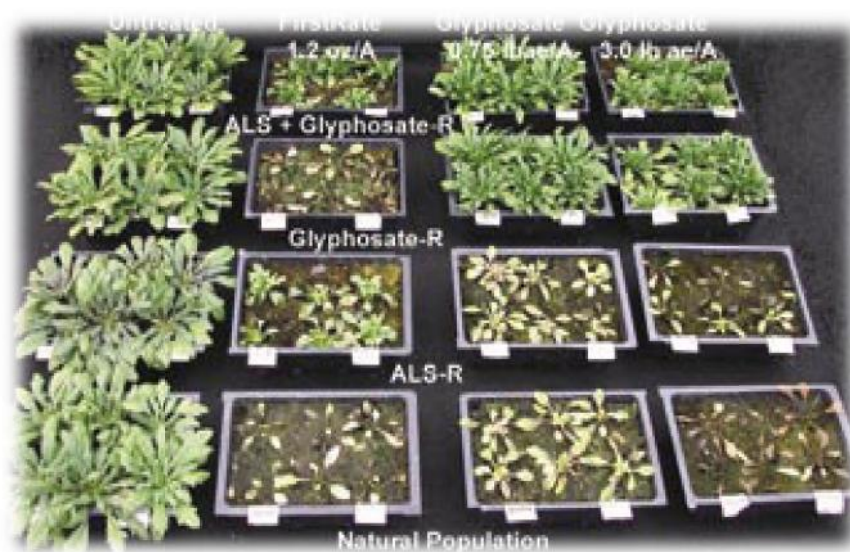


Photo 1. Vergerette du Canada (Horseweed, *Conyza Canadensis*) développant de la résistance, suite à la sur utilisation des herbicides totaux (<http://ipm.illinois.edu/pubs/horseweed.pdf>)

Sous ces conditions, la céréale en semis direct souffre du manque d'azote comparativement à la céréale conduite en conventionnelle. D'où il est parfois conseillé d'apporter plus d'azote en semis direct (Herbek and Murdock, 2006). En effet un manque d'azote entraîne une réduction ou voire une interruption du tallage herbacé et un retard de croissance des talles formées. Lorsque l'azote devient un facteur limitant de la croissance de la culture, seules les talles qui ont plus de trois feuilles produisent des épis (Herbek and Murdock, 2006).

Dans les zones arides du Maghreb, il apparaît essentiel de supprimer les semis tardifs qui accentuent le déficit hydrique en fin de cycle. Le calage optimal du cycle de développement de la culture permet un plus de production variant de 30 à 60% suivant l'intensité de l'aridité. Mais la mise en pratique d'une telle stratégie suppose un recours plus important à la mécanisation et au contrôle des adventices par les herbicides (Mrabet, 2011).

Matériel

Et

Méthodes

CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES

1. Le site expérimental

L'étude a été réalisée à la Station Expérimentale Agricole (SEA) de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) de Sétif au cours de la campagne 2010/2011. Le site expérimental, lieu-dit Rmada, est situé aux coordonnées géographiques 36° 08' N, 5° 20' E, à une altitude de 1081m. Le climat du site expérimental est un climat de type méditerranéen, continental, appartenant à l'étage bioclimatique semi-aride, caractérisé par un été pratiquement chaud et sec, et un hiver froid et humide (Chenaffi *et al.*, 2006). Le sol du site présente de grandes variations. Il est profond, avec peu de calcaire et plus fertile dans le voisinage du lit du Boussalem. Il est plus calcaire avec présence d'encroûtements et peu profond sur les parcelles, plus éloignées et en altitude. La teneur en matière organique varie de 1.4 à 2.8 % en surface ; elle décroît rapidement, en profondeur pour atteindre des valeurs inférieures à 1 % (Kribaa *et al.*, 2001).

2. Matériel végétal

La variété de blé dur Boussalem dont le pedigree est Heider/Martes//Huevo de Oro a été utilisée comme matériel végétal. Cette variété a été sélectionnée par la Station Expérimentale Agricole de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) de Sétif. Elle présente un cycle végétatif tardif de 5 jours en moyenne par rapport à la variété Waha, et précoce de 15 jours en moyenne par rapport à la variété Mohamed Ben Bachir (Annichiarico *et al.*, 2005). C'est une variété haute de paille, présentant des épis blancs. Elle se caractérise par une forte capacité de tallage herbacé. Elle montre aussi une performance de rendement plus élevée que celles de Waha et Mohamed Ben bachir, qui sont toutes les trois largement cultivées dans la région de Sétif (Annichiarico *et al.*, 2005).

3. Dispositif expérimental

L'expérimentation est mise en place selon un dispositif de strips, avec des parcelles élémentaires de 9 m x 15 m, répétées trois fois. Le couvert végétal du sol est constitué de chaume de céréales, dont l'estimation est faite selon la procédure décrite par Kline (2000). Le couvert des différents traitements est ajusté par rapport au pourcentage de résidus estimé au moment de la mise en place de la culture. Les traitements étudiés sont les suivants :

- La conduite conventionnelle
- La conduite en non labour avec trois variantes :
 - o 0% de couvert végétal,
 - o 30% de couvert végétal
 - o 60% de couvert végétal.
- La jachère intégrale
- La jachère chimique avec trois variantes :
 - o 0% de couvert végétal,
 - o 30% de couvert végétal
 - o 60% de couvert végétal.

Le traitement conventionnel est constitué du semis du blé dur sur précédent jachère travaillée. Cette jachère est conduite de manière intégrale où le labour profond est fait au mois de janvier 2010. Il est réalisé avec une charrue à 4 disques de marque Saima (Photo 2). Cet outil réalise un labour dont la profondeur varie de 18 et 23 cm. Le labour profond est suivi de recroisages au mois d'avril et mai 2010, pour fermer le labour et détruire la végétation adventice. Un autre croisage est réalisé juste avant le semis et après l'épandage de 100 kg ha⁻¹ d'engrais phosphaté, au mois de novembre 2010. Le semis a été fait au cours mois de décembre 2010 à une densité de 120 kg ha⁻¹ avec un semoir de marque Semeato pour le semis direct avec un semoir de marque Tarrup pour le semis conventionnel (Photo 2). Le semis direct est réalisé après traitement de la parcelle avec du glyphosate, à raison de 2 l ha⁻¹. La levée a eu lieu 13 janvier 2011.



Photo 2. Charrue à disque et semoir utilisés.

4. Notations

L'humidité du sol est déduite selon la méthode gravimétrique sur des échantillons pris des quatre premiers horizons par tranche de 10 cm (0 à 40 cm). Les poids frais (PF) et sec (PS) sont déterminés avec une balance de précision de marque Kern 440-33, au laboratoire de l'INRAA, Sétif. L'humidité pondérale (H %) du sol est déduite selon Duchaufour (1997):

$$H\% = \frac{100(PF - PS)}{PS}$$

La quantité d'eau disponible dans le profile (H, mm) est déduite par la formule:

$$H \text{ (mm)} = \frac{[(H\% - HPF) \times h \times da]}{100}$$

Où : H% = humidité pondérale du sol, HPF = humidité du sol au point de flétrissement, prise comme étant égale à 11% ; h = profondeur de l'horizon en mm, da= densité apparente du sol du site expérimental considéré.

La densité apparente (Da), déterminée selon Yoro et Godo (1990), est déduite par la formule suivante :

$$Da = \frac{P(g)}{V(cm^3)}$$

Avec : P (g), pois sec, à 105°C pendant 24 heures, du sol pris dans un cylindre métallique de volume V connu (cm³).

La quantité d'eau utilisée (EU) par la culture est estimée selon Chen et *al.*, (2003), à partir des humidités résiduelles au semis (HS) et à la récolte (HR), auxquelles on ajoute les précipitations (P) enregistrées au cours de la même période:

$$EU \text{ (mm)} = P + HS - HR$$

Le taux d'infiltration de l'eau dans le sol a été mesuré, en plein champ, par la méthode des doubles anneaux de Muntz *in situ* au stade épiaison au mois de mai 2011. Le principe de cette méthode est de mesurer la hauteur d'une lame d'eau sous charge constante, s'infiltrant verticalement sur une surface déterminée du sol en fonction du temps. Cette mesure

représente la perméabilité proche à la saturation. Le taux d'infiltration de l'eau a été mesuré au laboratoire, au mois de juin, sur des échantillons de sol non remaniés selon la méthode décrite par de Tobias (1968). Des cylindres en acier ont été utilisés pour le prélèvement. Les principales caractéristiques des anneaux de Muntz retenues sont les suivantes :

- Charge d'eau constante sur le sol de 3 cm de hauteur (h)
- Profondeur d'enfoncement de cylindre dans le sol de 7 cm (H).
- Surface de mesure constante de 135 cm^2 (S)

Au laboratoire, les cylindres ont été fixés sur une table. Un système d'alimentation en eau réglable est mis en haut des cylindres afin assurer une alimentation continue sur les échantillons du sol prélevés. Une charge d'eau constante sur la surface du sol est assurée à l'aide d'un trop plein qui évacue tout excès d'eau durant l'expérience. L'eau qui s'infiltre est récupérée dans un bac en aluminium placé sous les cylindres. La quantité d'eau récupérée après la saturation du sol représente une heure de mesure d'infiltration du sol (Photo 3).

Le taux de la matière organique (MO%) est déterminé par la méthode d'Anne. Cette méthode est basée sur l'extraction du carbone à chaud par la bichromate de potassium en milieu sulfurique. Le dosage de l'excès de bichromate est fait par une solution de sel de Mohr pour déterminer la différence de volume ayant réagi avec le carbone du sol (Benhassine *et al.*, 2008). Les résultats de l'analyse chimique ont été multipliés par le coefficient 1,724 pour transformer le carbone en matière organique (Chabalier *et al.*, 2006).

La teneur relative en eau (TRE) est déterminée sur un échantillon de dix feuilles, selon la procédure décrite par Benmahammed (2005). Les dix feuilles échantillonnées par traitement sont directement pesées pour avoir le poids frais (PF). Elles sont ensuite insérées dans un tube à essai contenant de l'eau distillée, mises à l'abri de la lumière, à température ambiante du laboratoire, pour atteindre l'état turgide.

Quatre heures après, elles sont pesées pour obtenir le poids turgide (PT), après avoir pris soin de les essuyer de l'excès d'eau avec du papier buvard. L'échantillon de feuilles est mis à sécher dans une étuve, à 65°C pendant 16 heures, pour obtenir le poids sec (PS). La teneur relative en eau est calculée par:

$$\text{TRE (\%)} = \frac{100(PF - PS)}{(PT - PS)}$$



Photo 3. Mesure de la perméabilité du sol au laboratoire après saturation.

La matière sèche totale accumulée est mesurée à différentes dates au cours du cycle de la végétation. La végétation, échantillonnée d'un segment de rang de 1m de long, est fauchée par parcelle élémentaire. Le poids sec est déterminé après passage à l'étuve à une température de 85°C pendant 48 heures. Le nombre d'épis par m² est déterminé à partir du comptage de deux placettes, d'une longueur de 2 m linéaires chacune, par parcelle élémentaire, puis rapportée au m².

Le battage des épis provenant des placettes récoltées donne une estimation du rendement grain. Ce dernier déduit de la biomasse totale donne une estimation du rendement paille. Le rendement économique est obtenu à partir de la somme du rendement grain et de l'équivalent grain de la paille produite (Annichiarico et *al.*, 2005). Le rendement grain est déterminé, aussi, après la récolte de l'expérimentation avec une moissonneuse-batteuse expérimentale de marque Hege 125. Le poids de mille grains est déduit à partir du comptage du nombre de grains d'un échantillon de 30 g.

Le nombre de grains par épi (NGE) est déduit par calcul par la formule suivante:

$$\text{NGE} = \frac{1000RDT}{NE \times PMG}$$

Où ; RDT représente le rendement grain (g/m^2), NE est le nombre d'épis/ m^2 et PMG est le poids de 1000 grains, en g. Le nombre de grains au m^2 (NGM^2) a été déterminé partir du produit du nombre d'épis par m^2 et du nombre de grains par épi.

La transpiration de la culture (T, mm) est déduite de la biomasse accumulée (Bio, kg m^2) et du déficit de saturation de la pression de la vapeur d'eau l'air (Δe , Pa) et du coefficient spécifique de la culture ($k = 4.5 \text{ Pa}$), selon Ehlers *et al.*, (2003) comme suit:

$$T = \text{BIO}(\Delta e) / k$$

Δe est calculée pour la période de la phase active de croissance, qui s'étale de la montée au stade grain pâteux, de la mi-mars à la mi-juin.

L'évaporation du sol (E) prise comme étant une composante de l'eau utilisée (EU) par la culture au cours de son cycle est déduite par:

$$E = \text{EU} - T.$$

L'efficience d'utilisation de l'eau (EUE) est calculée selon la formule citée par Chenaffi *et al.*, (2006), par le rapport de la biomasse accumulée ou du rendement grain sur la quantité d'eau consommée:

$$\text{EUE} = \frac{\text{BIO}(g)}{H_2O(mm)}$$

Les différentes mesures effectuées ont fait l'objet d'une analyse de variance en utilisant logiciel CropStat7.2.3 (2008). Les effets du travail du sol (Labour conventionnel vs non labour) et des résidus (linéaire et quadratique) ont été testés en utilisant la méthode des contrastes (Steel et Torrie, 1982).

Résultats

Et

Discussion

CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION

1. Pluies et températures des deux dernières campagnes et la campagne moyennes des 12 ans enregistrées sur le site expérimental

Le cumul des pluies du mois de septembre au mois de juin ont été de 382.4, 502.6 et 409.4 mm respectivement pour la campagne moyenne de 12 années et des campagnes 2009/10 et 2010/11 (Figure 1).

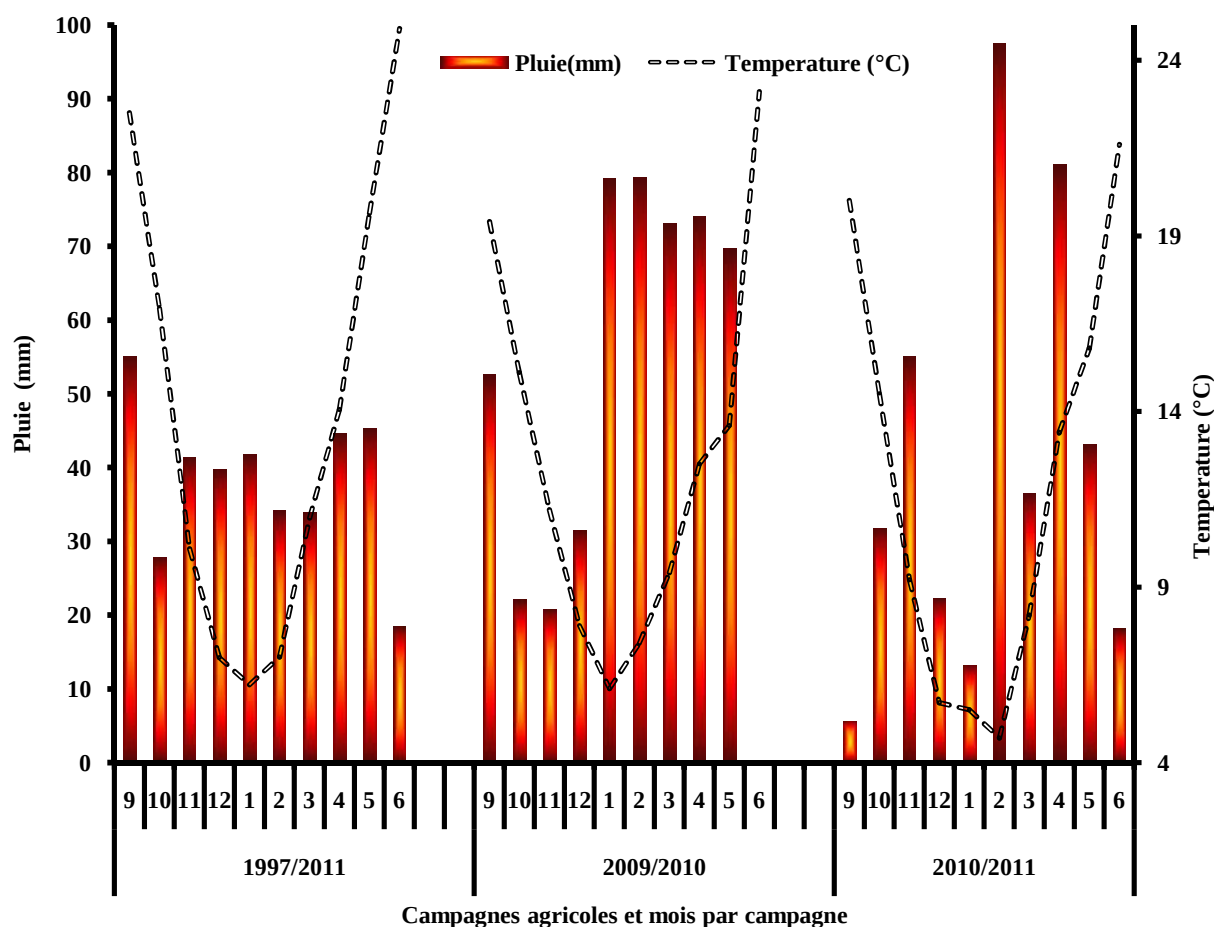


Figure 1. Pluviométrie et températures, moyennes des 12 dernières années et des deux dernières campagnes enregistrées sur le site ITGC Sétif.

La campagne moyenne de 12 années montre une distribution monotone de la pluviométrie, avec une moyenne variant entre 30 et 40 mm pour la plus part des mois, hormis les mois de septembre et de juin. Le mois de septembre présente le cumul moyen le plus élevé alors que c'est l'inverse pour le mois de juin. Cette distribution moyenne de la pluviométrie cache une grande variabilité qui est observée par campagne pour cette caractéristique climatique sous conditions semi- arides des hautes plaines orientales.

Ceci est confirmé par les différences très nettes du point de vue cumul mensuel de la pluviométrie que montrent les campagnes 2009/10 et 2010/11 entre elles et comparativement à la campagne moyenne des 12 dernières années. Les dernières campagnes présentent un excédent pluviométrique de 31% (120.0 mm) et de 6% (22.2 mm) de plus que le cumul de la campagne moyenne des 12 années. Au cours de ces deux campagnes, les mois de l'hiver et du printemps sont relativement très pluvieux, enregistrant 81% et 73% du cumul total de la campagne considérée (Figure 1).

Ceci suggère que les conditions de croissance ont été relativement plus favorables au cours de ces deux dernières campagnes, quoique la campagne 2009/2010 présente une meilleure distribution comparativement à la campagne 2010/2011 (Figure 1). Le cumul pluviométrique enregistré entre la date de semis de l'expérimentation et la récolte a été de 312.1 mm. La température moyenne montre la même distribution, froide en hiver, atteignant les plus faibles valeurs au cours des mois de janvier et février, et haute au cours des périodes de semis et de récolte. Elle affiche des valeurs inférieures à 10°C pour la plus part des mois du cycle de croissance de la céréale, puis s'élève rapidement à partir du mois d'avril, réduisant la période croissance de la plante aux deux mois du printemps (avril et mai), et le premier mois de l'été (Figure 1).

2. Installation de la culture de blé dur

L'analyse de la variance du nombre de plants levés montre des différences non significatives entre les traitements de labour et entre les taux de résidus (Tableau 1). Les peuplements plants par m² sont de 247.1 et 267.9 plants /m², respectivement pour le blé mis en place après un labour conventionnel et un blé en semis direct.

Dans les conditions de la présente campagne (2010/2011), ces résultats indiquent que l'installation de la culture est peu influencée par le travail du sol aussi bien que par le taux de couverture du sol avec les résidus. Ces résultats vont à l'encontre de certaines recherches qui notent un effet labour significatif, expliqué par une moindre perte de graines mises en terre en semis direct comparativement au semis de la pratique conventionnelle.

Ainsi Mrabet et Bourarach (2001) mentionnent que pour le semis fait en conditions conventionnelles, présente une profondeur de semis qui est variable et fonction de l'état d'ameublissement du lit de semis. Le mouvement des organes d'enterrage du semoir étant

mobiles, des graines sont laissées en surface, lorsque ces derniers rencontrent un obstacle ou elles sont enfouies profondément, lorsque ces derniers travaillent en sol trop meuble.

Les graines en surface du sol comme celles qui sont trop enfouies dans le sol, si elles arrivent à germer, les premières périssent suite au dessèchement de la surface du sol, et les secondes périssent par épuisement, suite la profondeur de semis trop importante. Fellahi et *al.*, (2011) observent une levée plus homogène et une meilleure régularité de la profondeur de semis, en semis direct, alors que le semis conventionnel présente un taux de perte à la levée significativement plus important.

Dans les conditions de la présente étude et pour une densité de semis de 300 graines m^{-2} , les taux de pertes à la levée sont de 10.7% et 17.7 %, respectivement pour le semis direct et le semis fait en conditions conventionnelles. Ces taux de pertes sont, en effet relativement bas, comparativement à ce qui est souvent rapporté pour la région. Bouzerzour et Refoufi (1993) ainsi que Fallahi et *al.*, (2011) rapportent des pertes significativement plus importantes sous conditions conventionnelles. Al-Ouda (2011) signale un avantage de 5 % du nombre des plants levés pour le semis direct par rapport au conventionnel. Une valeur proche de celle obtenue par cette expérimentation avec une valeur de 8.4%. Aïbar (2006) mentionne que le semis direct présente l'avantage d'une levée plus homogène associée à une installation rapide de la culture.

Abdellaoui et *al.*, (2011) notent un nombre de plants levés plus important en semis direct qu'en semis conventionnel. Lopez et Arrue (1997) n'observent pas de différence significative du taux de levée entre le semis direct et le travail conventionnel, en année sèche, où la levée était plus tardive en non labour. Par contre en année à automne pluvieux, le non labour présente un taux de levée plus élevé et une meilleure régularité de la profondeur de semis que le semis conventionnel. Ces auteurs expliquent le retard de croissance, noté en non labour, par le tassement du sol qui rend difficile la progression du front racinaire.

La présence des résidus en surface du sol n'affecte pas le nombre de plants levés comparativement à l'effet du travail du sol. En effet, les différences entre les moyennes du nombre de plants/ m^2 levés sous couvert végétal ne sont pas significatives (Tableau 1). Ces résultats rejoignent ceux de Fellahi et *al.*, (2011) qui mentionnent que la présence de résidus en surface du sol n'affecte pas significativement l'installation de la culture. Les expériences menées sur l'effet du couvert végétal sur l'émergence des plantules en semis direct par Santiveriet *al.*, (2003) ont mis en évidence l'indépendance de la levée des semences de l'orge

vis-à-vis du couvert végétal. Selon Li et *al.*, (2008), le bourrage des organes d'enterrage en semis direct, suite à la présence des résidus, peut être la cause d'un mauvais semis.

3. Performances du blé

3.1. Le rendement grain

L'analyse des données relatives au rendement grain montre que la technique du semis direct réalise un rendement grain significativement supérieur au rendement obtenu sous les conditions du labour conventionnel (Tableau 1). Le rendement grain, en non labour, est supérieur à celui du labour conventionnel de 25% (Figure 2). L'effet des résidus est significatif, de forme linéaire, il suggère que pour chaque augmentation de 10% de résidus de couvert du sol, le rendement grain augmente de près de 0.9 q ha^{-1} (Figure 2). Les résultats de la présente étude corroborent ceux de El-Brahli et *al.*, (2001) qui rapportent que le non labour permet généralement des rendements largement plus élevés que ceux obtenus en labour conventionnel.

Bouzza (1990) mentionne que, comparativement au labour conventionnel, le semis sur résidus et en conditions de non labour augmente le rendement grain suite à l'augmentation de l'humidité du sol sous conditions de non labour et à une meilleure utilisation de l'eau disponible. Cet auteur observe un excédent d'humidité du sol en condition de non labour suite à une meilleure efficacité de stockage d'eau de la jachère chimique, ce qui explique l'avantage de rendement grain observé.

Mrabet (2011) mentionne que la jachère chimique permet un stockage d'humidité plus important, variant de 10 à 30%, qu'une jachère travaillée. La culture du blé en bénéficie largement, de ce supplément d'eau. Sous les mêmes conditions de la présente étude Chenaffi et *al.*, (2011) rapporte un effet significatif des résidus de couvert du sol sur l'augmentation du rendement grain en non labour. Fellahi et *al.*, (2010) rapporte que le non labour, avec un taux de couverture de 60%, présente un rendement grain équivalent à celui obtenu sous conditions de labour conventionnel.

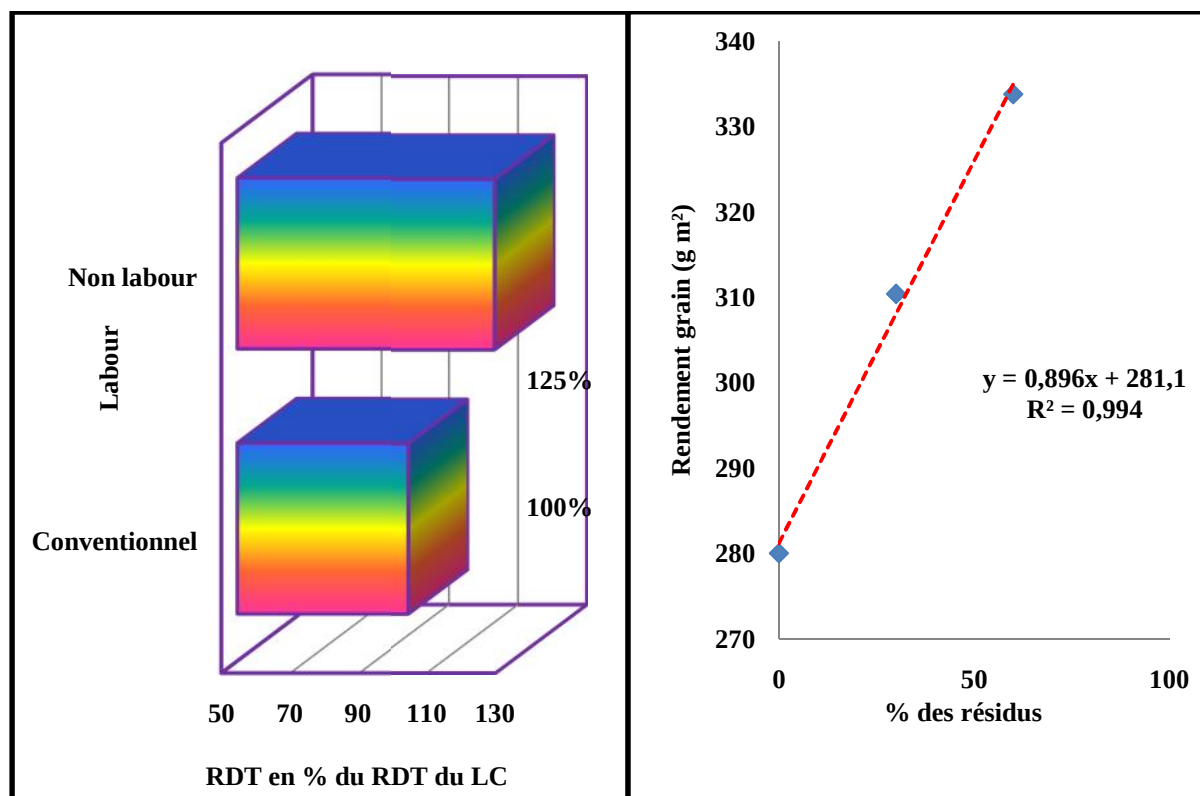
Ces auteurs mentionnent, cependant, qu'en absence de résidus en surface du sol, le rendement du conventionnel est supérieur à celui obtenu sous conditions de non labour. Angar et *al.*, (2011) rapportent que durant dix campagnes, en Tunisie, le rendement obtenu en non labour est significativement plus élevé que celui obtenu en conditions de labour conventionnel. Bonfil et *al.*, (1999) mentionnent qu'au cours de deux années très sèches, le

non labour présente un rendement grain plus élevé de supérieur de 62% que celui du labour conventionnel.

Tableau 1. Valeurs moyennes des variables mesurées des différents traitements étudiés.

Variables	Travail du sol		Test	Résidus			Contraste Lin
	Conventionnel	Non labour		0%	30%	60%	
PLT	247.1	267.9	ns	271.3	263.4	268.9	ns
RDT	246.2	308.1	**	280.0	310.4	333.8	*
NE	240.9	267.4	ns	236.2	286.5	279.5	ns
PMG	57.5	49.4	**	53.1	45.7	49.4	ns
NGM ²	4275.6	6274.4	**	5271.9	6797.1	6754.3	*
NGE	16.0	24.3	**	22.5	25.6	24.7	ns
BIO	659.0	826.1	**	749.8	853.1	875.6	*
PLL	412.9	518.1	**	469.8	542.7	541.8	*
RDT _{éco}	411.3	515.3	**	467.9	527.4	550.5	*
HT	67.8	68.7	ns	69.3	67.3	71	ns
HI	37.4	37.2	ns	37.3	36.3	38.1	ns
EUE _{bio}	19.4	24.8	**	22.1	25.1	25.8	*
EUE _{gr}	7.3	9.0	**	8.2	9.1	9.8	*
TRE(%)	78.58	74.17	ns	72.76	73.89	75.86	ns

ns, *, **: effet no significatif, significatif au seuil de 5% et 1 % selon le contraste.



Wilhelm et *al.*, (1989) ont constaté que le rendement du blé augmente en fonction du taux des résidus apportés, et que le rendement du non labour était plus élevé que du labour conventionnel. Mrabet (2011) observe, durant une période de neuf ans, que le rendement grain du non labour était égal ou supérieur à celui du labour conventionnel. Par contre Lithourgidis, et *al.*, (2006) n'observent pas de différences significatives en terme de rendement grain entre les deux systèmes de labour, mais ils mentionnent que le système de non labour réduit de 50% les charges induites par la mise en place de la culture.

De Vita et *al.*, (2007) trouvent eux aussi un rendement plus élevé en non labour durant deux années et une différence non significative la troisième année, comparativement au rendement grain du labour conventionnel. Azooz et Arshad (1998) font remarquer que le rendement grain était plus élevé en non labour, en années sèches et plus faible en année pluvieuse, comparativement au labour conventionnel.

Chenaffi et *al.*, (2011) notent, sur la base des résultats de deux années, d'une étude comparative des deux systèmes de labour conventionnel et non labour, que le rendement du blé dur mis en place après labour conventionnel était plus élevé comparativement à celui mis en place en semis direct sans couverture végétale. Le rendement du blé semé directement sur couverture végétale était égal ou supérieur à celui du blé mis en place après un labour conventionnel.

3.2. Les composantes du rendement

L'analyse des données des composantes du rendement : le nombre d'épis m^{-2} , le poids de 1000 grains, le nombre de grains par épi et par m^2 , indique l'avantage du non labour pour le peuplement épis m^{-2} , le nombre de grains par épi et par m^2 et celui du labour conventionnel pour le poids de 1000 grains (Tableau 1). Exprimé en % de la moyenne du labour conventionnel, l'avantage du peuplement épis est de 11.0%, celui du nombre de grains par épi et du nombre de grains par m^2 , est plus conséquent atteignant 46.7 et 51.9%, respectivement.

Ceci explique largement l'avantage de rendement grain du non labour, discuté plus haut. Le poids moyen du grain ou poids de 1000 grains est réduit de 14.1%. Cette réduction fait suite à un effet de compensation qui s'instaure entre les nombres de grains par m^2 et par épi qui sont plus importants sous conditions de non labour (Tableau 1 ; Figure 3). L'effet des résidus est aussi manifeste, notamment entre l'absence et la présence de la couverture du sol.

En effet on note une augmentation du peuplement épis et des nombres de grains par m² et par épi, en présence des résidus de couverture du sol comparativement à leur absence. Cette augmentation prend une forme quadratique, étant plus élevée sous taux de résidus de 30% est moindre sous taux de couverture de 60% (Figure 3).

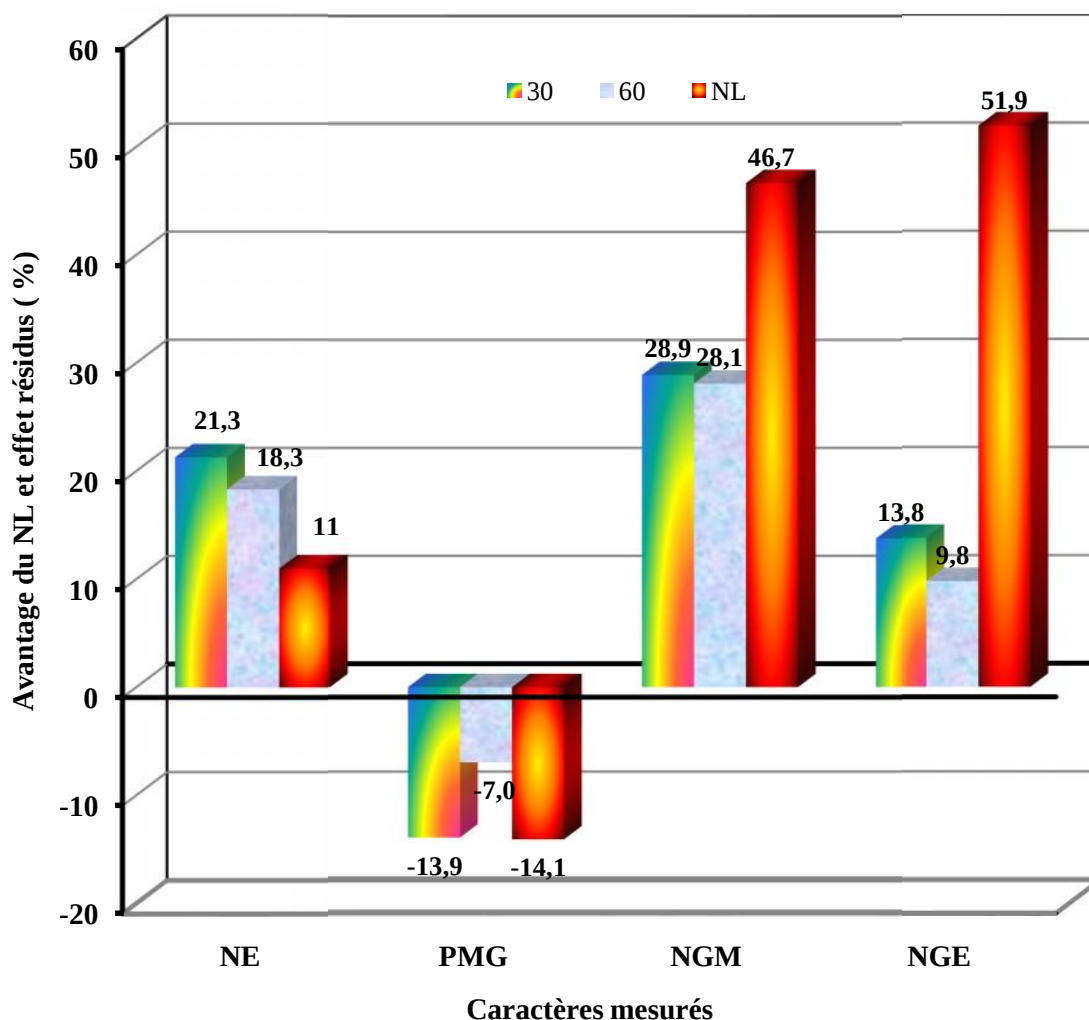


Figure 3. Différences relatives entre les performances du non labour (NL) comparativement au labour conventionnel pour les épis m⁻² (NE), le poids de 1000 grains (PMG), les nombres de grains par m² (NGM²) et par épi (NGE), et effet du taux de résidus.

En valeur relative, cette augmentation varie de 21.3 à 18.3% pour les épis par m², de 28.9 à 28.1% pour le nombre de grains par m² et de 13.8 à 9.8% pour le nombre de grains par épi, respectivement pour les taux de résidus de 30% et 60%, comparativement aux valeurs observées en absence de résidus (Tableau 1, figure 3).

Abdellaoui *et al.*, (2011) rapportent une différence significative entre les peuplements épis du non labour et du labour conventionnel, dont les moyennes respectives étaient de 276

et 166 épis/m². Ces auteurs expliquent cette différence par une meilleure installation de la culture en conditions de non labour. Les mêmes constatations sont rapportées par Fellahi *et al.*, (2011) qui ont travaillés sur le même site expérimental où a été conduite la présente étude (Chenaffi *et al.*, 2011).

Kabakci *et al.*, (1993) mentionnent que le nombre d'épis par mètre carré ainsi que le nombre de grains par épi augmentaient de 29 et 31% respectivement, en conditions de non labour et sous couverture végétale. Ces résultats corroborent ceux de la présente étude qui montrent une augmentation simultanée du peuplement épis et du nombre de grains par épi sous conditions de non labour.

En ce qui concerne le poids de mille grains, les résultats de la présente étude rejoignent ceux de Riege *et al.*, (2008) qui rapportent un poids de mille grains plus faible en non labour comparativement au conventionnel. Abdellaoui *et al.*, (2011) rapportent le même phénomène, qu'ils attribuent à la compensation qui s'instaure sous conditions limitantes entre les différentes composantes du rendement notamment entre le nombre et la taille des organes.

3.3. Biomasse aérienne, rendement paille, hauteur de la végétation, indice de récolte et rendement économique

Le non labour présente aussi un avantage significatif, pour la biomasse aérienne, la paille et le rendement économique (Tableau 1). La différence entre les deux systèmes n'est pas significative pour la hauteur de la végétation et pour l'indice de récolte. Dans la mesure où l'adoption du non labour est conditionnée par les résidus, les résultats de la présente étude apporte une information importante : la paille produite est significativement plus élevée en non labour comparativement au labour conventionnel.

Ainsi ce supplément de paille produite réduira de la tension existante sur la paille dont la destination est essentiellement fourragère (Abbas et Abdelguerfi, 2005). Le fait, que la hauteur de la végétation n'est pas significativement différente entre les deux systèmes, suggère que les différences du point de vue production de paille et de biomasse aérienne viennent essentiellement d'une meilleure capacité de tallage épis qui caractérise le non labour. La différence non significative de l'indice de récolte, entre les deux systèmes, suggère que l'amélioration de la biomasse aérienne est concomitante à celle du rendement grain, avec pour conséquence un indice de récolte constant. Le double avantage de la production de paille et du

grain, du non labour résulte en une différence significative du rendement économique entre les deux systèmes. Cet avantage est de 25% pour les trois caractères : biomasse aérienne, rendement en paille et rendement économique (Tableau 1, figure 4).

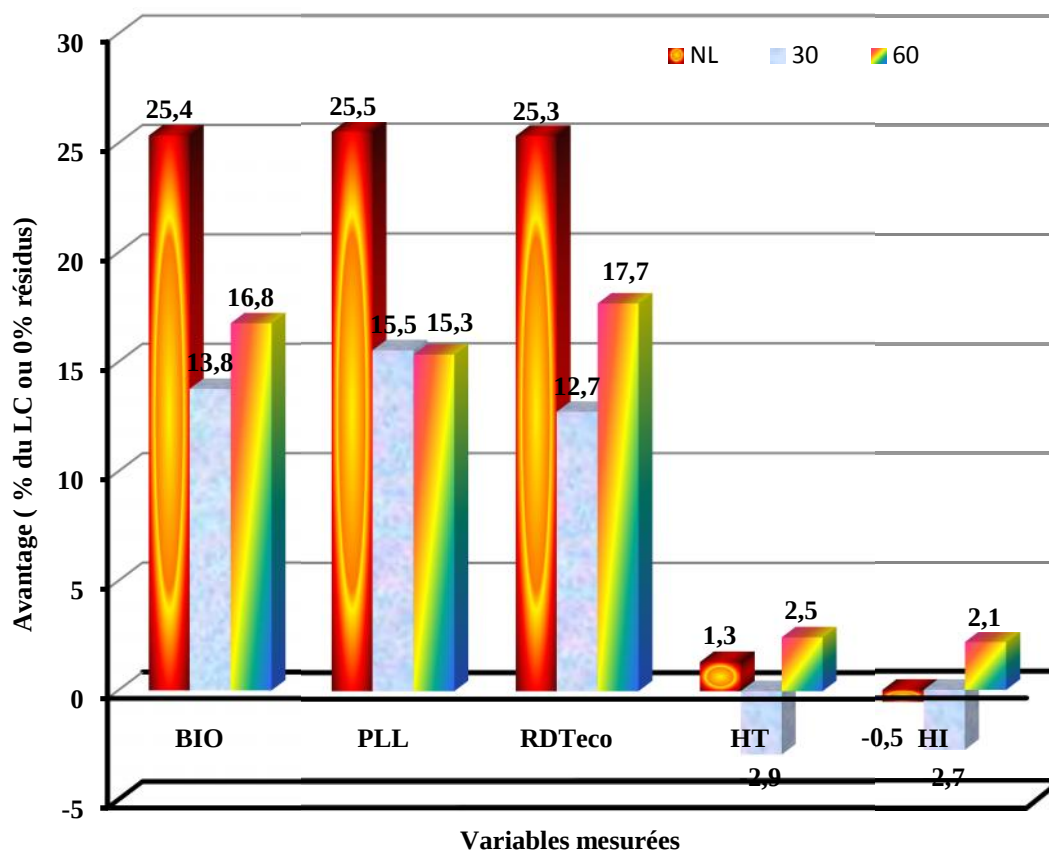


Figure 4. Différences relatives entre les performances du non labour (NL) comparativement au labour conventionnel pour la biomasse aérienne (BIO), la paille (PLL), le rendement économique (RDTeco), la hauteur (HT) et l'indice de récolte (HI) et effet du taux de résidus.

Ces mêmes caractères répondent à la présence des résidus. La réponse est de type quadratique, plus importante entre 0% et 30% et moins importante entre 30% et 60% de résidus de couverture du sol (Tableau 1, figure 4). En valeur relative, la présence des résidus en surface du sol augmente la biomasse aérienne de 13.8% et 16.8%, en passant du taux de 0% à 30% et de 0% à 60%. Elle augmente la paille produite de 15.5% à 15.3% et le rendement économique de 12.7% et 17.7%, entre les mêmes taux de résidus (Tableau 1, figure 4). L'effet des résidus en surface du sol n'est pas significatif pour la hauteur de la végétation et l'indice de récolte (Tableau 1, figure 4). En ce qui concerne l'indice de récolte, les résultats de la présente étude corroborent ceux de Hemmat et Eskandari (2006) qui

mentionnent que sous climat semi-aride, l'indice de récolte change peu sous l'effet des différents systèmes de labour.

4. Cinétique d'accumulation de la biomasse aérienne

L'effet du travail du sol aussi bien que celui des résidus en surface du sol, présentent un effet significatif sur la cinétique d'évolution de la biomasse aérienne de la culture de blé dur. Mesurée à plusieurs dates, la biomasse montre des différences significatives au cours du cycle, différences qui deviennent de plus en plus évidentes vers la fin du cycle entre les traitements de labour (Figure 5) et les taux de résidus de couverture (Figure 6).

Ces résultats corroborent ceux de Sadeghi et Bahrani (2009) qui mentionnent une augmentation de la biomasse aérienne, de l'indice de récolte, du nombre d'épis, du nombre de grains par épi, du poids de 1000 grains et du rendement grain, en fonction du taux de résidus couvrant le sol. Ils expliquent cette augmentation par l'amélioration de l'infiltration et par l'efficacité d'utilisation de l'humidité du sol sous couvert végétal.

Verhulst et *al.*, (2011) signalent une croissance initiale du non labour, plus faible, en présence de résidus. Mais la végétation reprend sa croissance normale, compense son retard et arrive à surpasser la croissance du labour conventionnel. Elle aboutit à une augmentation de la biomasse et des déterminants du rendement grain. Par contre, Glab et Kulig (2008) mentionnent que les résidus de couverture du sol réduisent le rendement grain, la biomasse accumulée et l'efficacité d'utilisation de l'eau.

5. Teneur relative en eau des feuilles

L'analyse de la variance de la teneur relative en eau des feuilles montre des différences non significatives entre les traitements de labour et entre les taux de résidus (Tableau 1). La teneur relative en eau des feuilles régresse à mesure que le cycle de la culture tire vers sa fin. A 181 jours après semis, la teneur relative en eau du feuillage diminue et enregistre une valeur moyenne de 65.21%, suggérant que la végétation est sous stress hydrique.

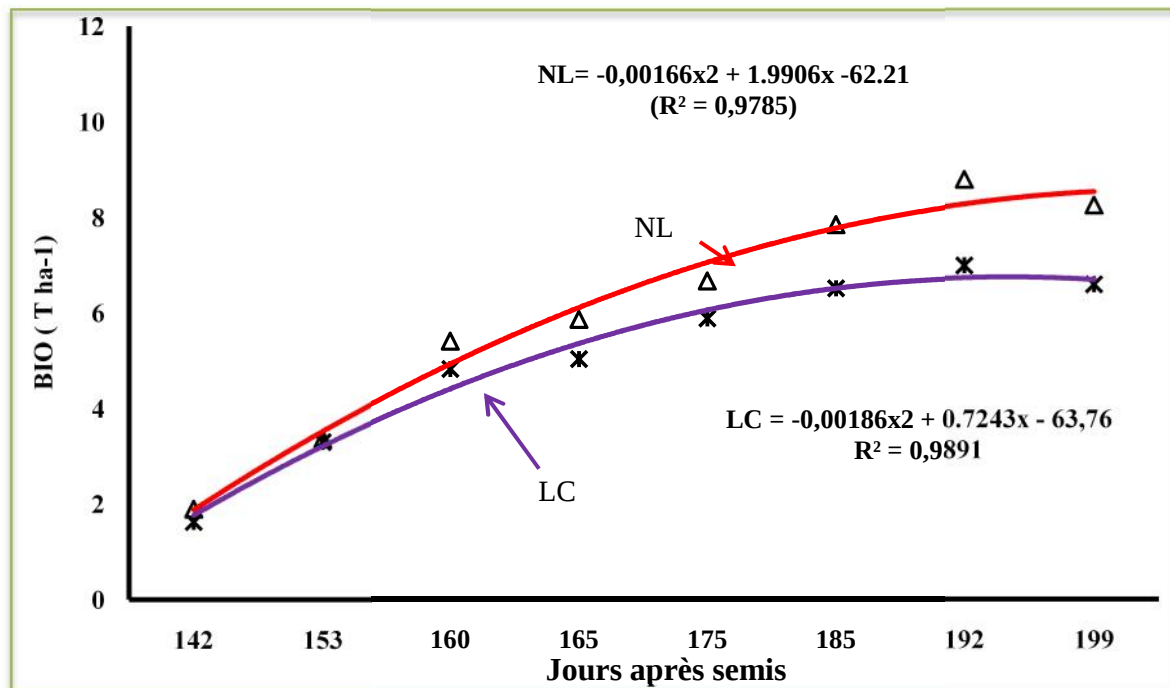


Figure 5. Cinétique d'évolution de la biomasse aérienne du blé dur en labour conventionnel et non labour

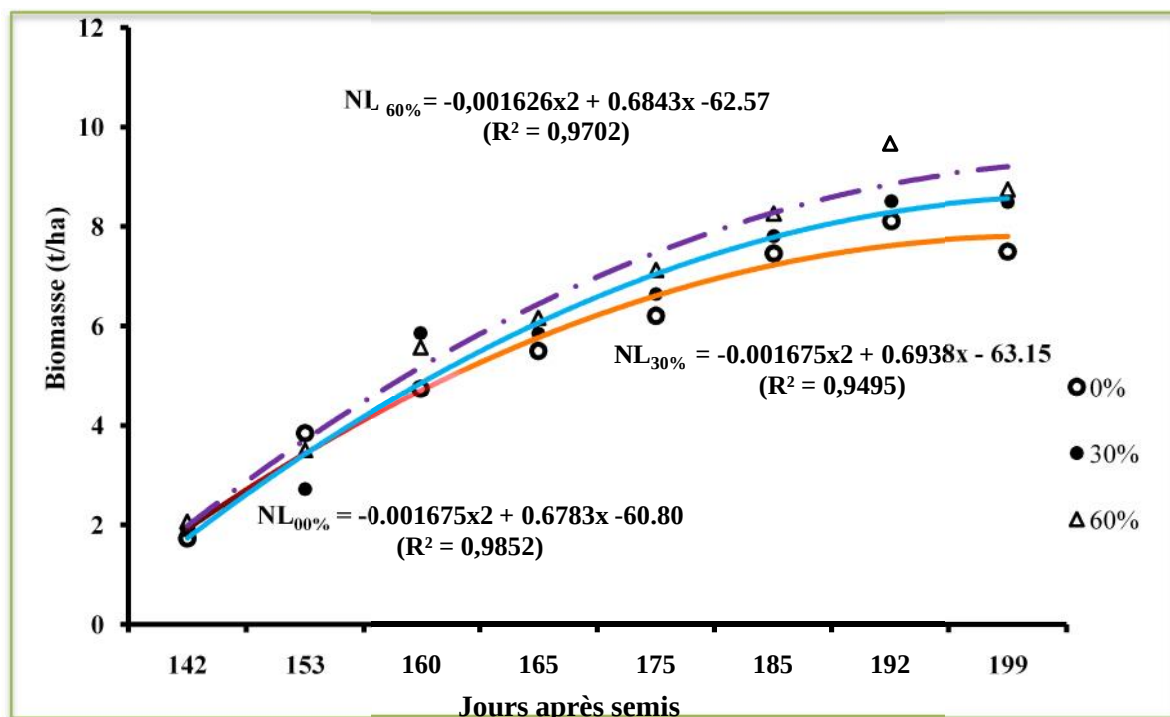


Figure 6. Cinétique d'évolution de la biomasse aérienne du blé dur sous non labour avec différents taux de résidus de couverture du sol.

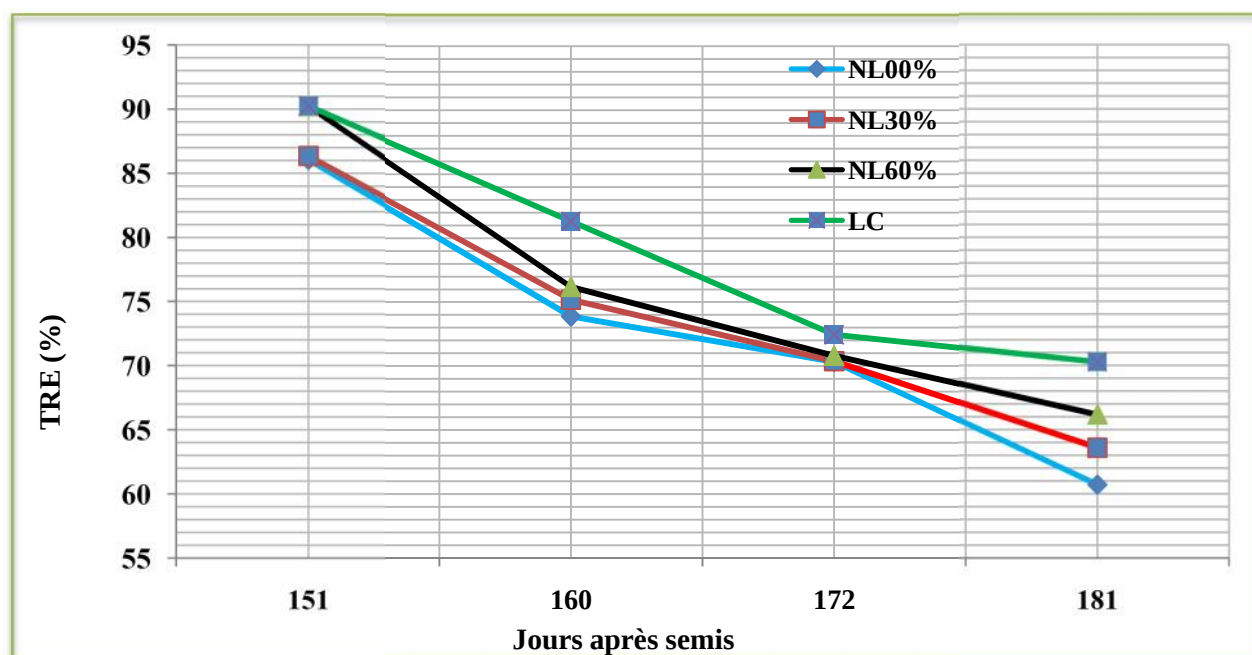


Figure 7. Variation de la teneur relative en eau du feuillage des différents traitements.

Le labour conventionnel maintient un meilleur état hydrique des feuilles durant tout le cycle, avec une moyenne de 78.58 % suivie par le non labour avec une moyenne de 75.86 %. Le non labour sans couvert a une TRE moyenne de 72.76%. La diminution de la TRE au cours de temps signifie que le stress hydrique devient plus important vers la fin de cycle de la culture. Ce stress est variable selon les traitements. Il est plus important en non labour sans paillis et relativement moindre pour le labour conventionnel. Ces résultats suggèrent que le paillage pourrait maintenir un bon état hydrique des plantes en réduisant des effets du stress hydrique relativement au non labour sans couverture du sol. Ces résultats rejoignent ceux de Debashis et *al.*, (2008) qui mentionnent que le paillage maintient un bon état hydrique des plantes.

6. Humidité du sol, évaporation et transpiration du végétal

La distribution de l'humidité du sol, sur les 40 cm du profil, suit celle de la pluviométrie du site. Elle est peu affectée par la nature du labour et/ou par la couverture du sol (Figures 8 et 9). Au moment du semis, le sol est relativement moins humide, portant une hauteur moyenne d'eau de 17 à 18 mm. Les premiers mois après le semis, notamment au cours de l'hiver, la quantité d'eau emmagasinée dans le sol est plus importante suite aux événements pluvieux plus fréquents. Elle atteint un pic de 35 mm, 100 jours après le semis.

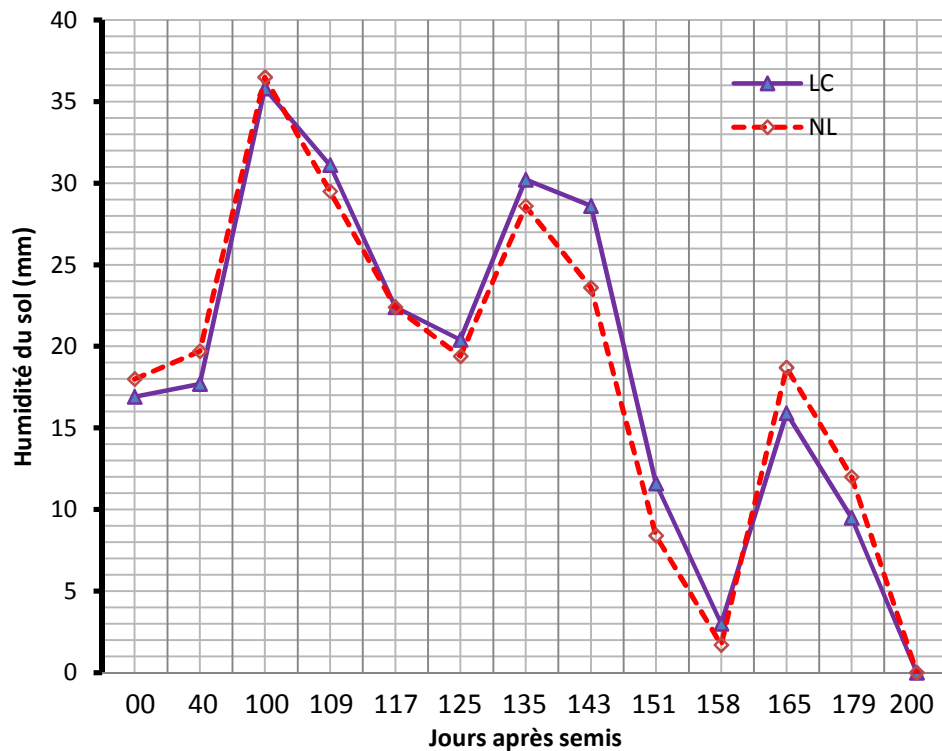


Figure 8. Evolution de l'humidité du sol sous culture de blé mise en place après labour conventionnel et non labour.

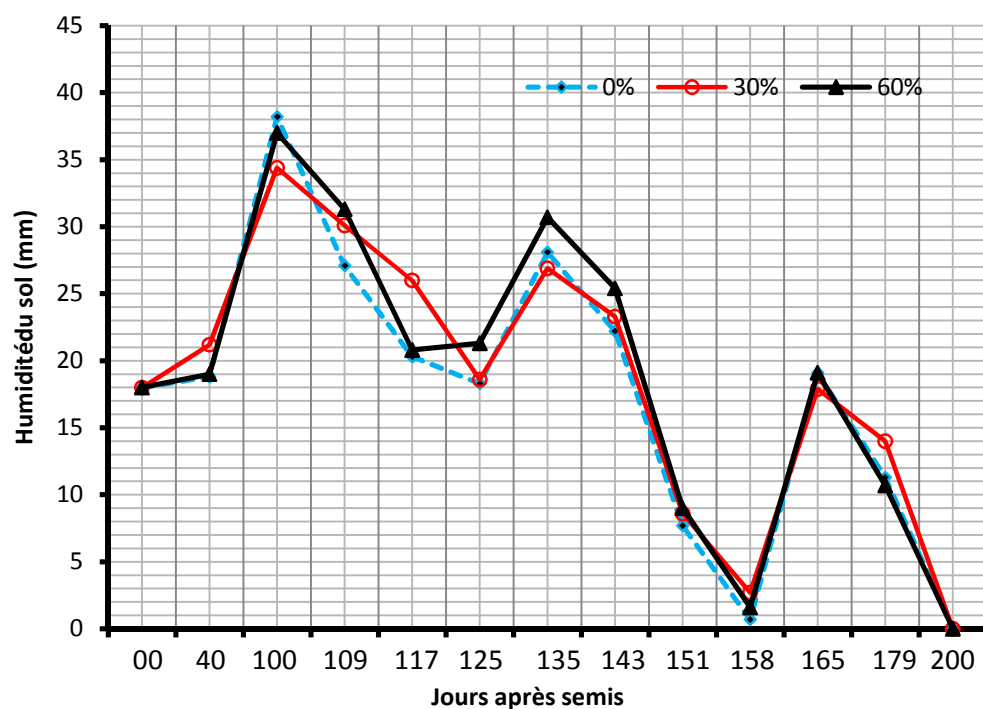


Figure 9. Evolution de l'humidité du sol sous culture de blé dur mise en place en non labour avec différents taux de résidus de couverture du sol.

Une forte consommation s'en suit, sans une recharge significative, suite à une absence de pluies conséquentes, puisque l'humidité du sol chute à une valeur moyenne de 20 mm pour les deux systèmes de labour, 125 jours après le semis. Des événements pluvieux survenant après cette date, remontent le niveau de l'humidité du sol à une valeur moyenne de 28 à 30 mm, chez les deux systèmes de labour (Figures 8 et 9).

Après cette date, la consommation devient le trait marquant de l'évolution de l'humidité du sol, qui atteint le point de flétrissement à 158 jours après le semis. Des événements pluvieux du printemps redressent la situation puis l'humidité retombe au-dessus du point de flétrissement à la fin du cycle, suggérant peu de transfert d'eau vers le cycle suivant, du moins pour les 40 premiers centimètres du sol.

Les résultats de la présente étude ne montrent pas une tendance nette d'un système de labour à l'autre, pour ce qui est de l'évolution de l'humidité du sol, sous la culture de blé dur (Figure 8). Il en est de même pour l'évolution de l'humidité du sol sous la culture conduite avec différents taux de couverture du sol (Figure 9). Conduite dans un milieu où l'eau est très limitant, il n'est pas surprenant que toute l'humidité emmagasinée soit utilisée par la culture mise en place, quelque soit le système de conduite. Cependant, des différences entre systèmes peuvent apparaître dans la manière dont cette humidité est rendue disponible à la culture et surtout comment elle est utilisée en fonction de l'architecture de la plante.

Les résultats de la présente étude semblent aller en contre sens de ceux rapportés par Fellahi et *al.*, (2011), en ce qui concerne l'effet du travail du sol. En effet ces chercheurs rapportent que l'humidité du sol diminue plus rapidement en non labour, suggérant une plus grande utilisation de l'eau par la culture sous ce système. Cependant les résultats de cette étude corroborent ceux de Fellahi et *al.*, (2011) pour ce qui est de l'effet des résidus sur l'utilisation de l'eau du sol. En effet ces auteurs mentionnent l'absence de l'effet des résidus, tout en suggérant que ce peu de différence peut avoir plusieurs origines dont entre autres une plus grande consommation sous 60% de couvert végétale et une plus grande évaporation en sol non couvert (Fellahi et *al.*, 2011).

Sadeghi et Bahrani (2009) observent que le non labour stocke plus d'eau que le labour conventionnel. Cet effet est expliqué par la présence des résidus en couverture du sol en semis direct. Ces résidus ont pour effet de réduire la part de l'eau du sol évaporée. Cependant les résultats de la présente étude sont en accord avec ceux de Pala et *al.* (2000) qui notent qu'il y

a peu de différences dans l'évolution de l'humidité du sol de la culture mise en place sous labour conventionnel comparativement au non labour.

Ces auteurs observent un reliquat d'humidité plus important à la fin du cycle sous non labour comparativement au labour conventionnel. Les résultats de cette étude montrent qu'à la récolte, l'humidité du sol atteint le point de flétrissement sous les deux systèmes de conduite de la culture. Smika (1990) mentionne que le non labour produit 10% plus de grain et dispose de 9% de plus d'humidité du sol comparativement au système de labour conventionnel.

Le total de l'humidité du sol utilisée ou évapotranspiration (ET) est estimé comme étant la somme de la pluie enregistrée au cours du cycle (312.1 mm) plus l'humidité au semis (16 mm), moins l'humidité laissée à la récolte par la culture (00 mm). La transpiration (T) est estimée à partir de la biomasse aérienne accumulée et du déficit de saturation de l'air ambiant. La différence de ces deux valeurs moyennes (ET- T) indique la prépondérance de l'évaporation (E) dans les conditions de conduite de la culture de blé dur sur les hautes plaines orientales (Figure 10). En effet pour une évapotranspiration de 328.1 mm, 63% sont évaporés directement du sol et 37% sont transpirés par la culture (Tableau 2).

Tableau 2. Evapotranspiration (ET, mm), transpiration (T, %) et évaporation (E, %).

Traitements	Labours		Résidus		
Variables	LC	NL	0%	30%	60%
ET	328.10	328.10	328.10	328.10	328.10
T%	0.37	0.37	0.36	0.36	0.41
E%	0.63	0.63	0.64	0.64	0.59

Ces résultats sont en accord ceux de Cooper *et al.*, (1987), qui rapportent des chiffres de 60% pour l'évaporation sous des conditions similaires semi-arides syriennes. Selon Lopez et Arrue (1997), ceci est une caractéristique commune des environnements méditerranéens où l'évaporation représente une grande part de l'évapotranspiration. Pour le sud de l'Espagne, ces auteurs rapportent des valeurs de l'évaporation variant entre 60 et 70% de l'évapotranspiration. La présence des résidus en couverture, notamment le taux de 60%, réduit quelque peu de la quantité d'eau évaporée (59% vs 63%) au profit de celle qui est transpirée, ce qui suggère l'effet bénéfique des résidus (Figure 10). Mrabet (2011) rapporte une réduction de l'évaporation en non labour sous couverture végétale du sol.

Ces résultats mettent en évidence l'importance des recherches sur comment réduire de la part de l'humidité du sol directement évaporée, dans un milieu où l'eau est quantitativement limitée, au profit de la culture, pour rendre le système plus rentable. En effet l'adaptation au déficit en eau par rapport aux besoins optimaux du couvert végétal, peut se faire de deux façons. Par l'irrigation, de façon à combler le déficit en mobilisant l'eau bleue, mais cette alternative est peu probable, pour l'instant, dans le cas des conditions des hautes plaines orientales. L'autre alternative est de valoriser au mieux les précipitations ou eau verte. Ce qui peut se faire par l'amélioration de l'efficacité d'utilisation des pluies par la culture.

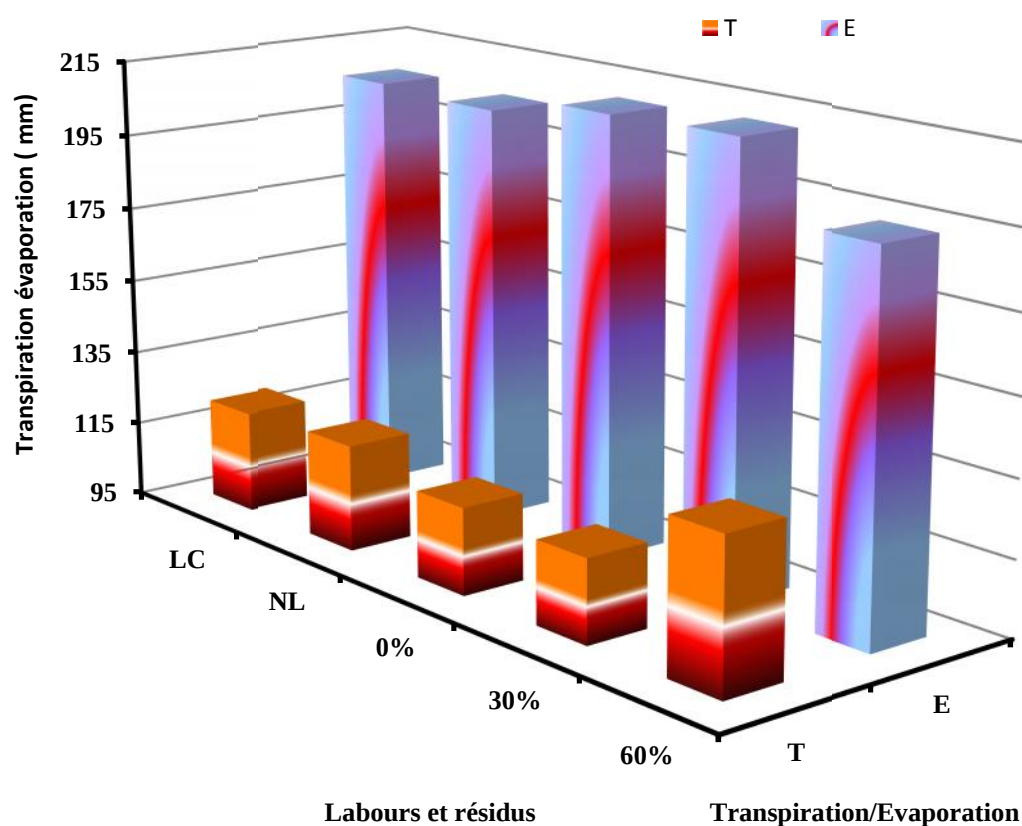


Figure 10. Répartition de l'évapotranspiration entre la transpiration (T) et l'évaporation (E) selon les systèmes de labours et le taux de couverture du sol par les résidus.

7. Efficience d'utilisation de l'eau

La hauteur d'eau totale exprimée en mm, utilisée la culture mise en place, est la même pour l'ensemble des traitements testés. Elle se résume à la quantité de pluie enregistrée au cours du cycle plus l'humidité du sol mesurée au moment du semis, sur la profondeur des 40 premiers centimètres. L'humidité mesurée à la récolte était nulle (Figure 8). Vu que les

quantités d'eau utilisées par les différents traitements sont similaires, les différences du point de vue comportement et performances de la culture sont donc dues à des différences de l'efficacité d'utilisation de l'humidité du sol (Tableau 3).

Le non labour présente une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau pour produire du grain et de la matière sèche aérienne, comparativement au labour conventionnel. La présence des résidus joue un rôle positif dans ce sens, et elle améliore l'efficacité d'utilisation de l'eau comparativement à l'absence des résidus (Tableau 3). Les valeurs moyennes trouvées dans la présente étude varient de 7.3 à 9.9 kg ha⁻¹ mm⁻¹ pour le grain et de 19.4 à 25.8 kg ha⁻¹ mm⁻¹ (Tableau 3).

Tableau 3. Efficacité d'utilisation de l'eau pour produire du grain et de la biomasse aérienne.

Variables	EUE (kg ha ⁻¹)	
Traitements	RDT	BIO
NL	9.1	24.4
LC	7.3	19.4
0%	8.3	22.1
30%	9.2	25.2
60%	9.9	25.8

Mrabet (2011) rapport des valeurs de l'efficacité d'utilisation de la pluviométrie variant de 2.5 à 10.7 kg ha⁻¹ mm⁻¹ pour le semis direct. De Vita et *al.*, (2007) rapportent des valeurs de 6.1 kg ha⁻¹ mm⁻¹ pour le rendement du non labour et 3.7 kg ha⁻¹ mm⁻¹ pour celui du labour conventionnel. Pour ce qui est de la biomasse aérienne produite les mêmes auteurs rapportent des valeurs moyennes variant 6.1 et 32.2 kg ha⁻¹ mm⁻¹.

Lopez et Arrue (1997) mentionnent que les valeurs de l'efficacité d'utilisation de l'eau pour produire du grain varient de 0.7 à 17.0 kg ha⁻¹ mm⁻¹, ce qui est consistant pour un environnement semi-aride méditerranéen. Des valeurs similaires, variant de 8.7 à 13.7 kg ha⁻¹ mm⁻¹ sont aussi rapportées par Gregory et *al.*, (1992). Fellahi et *al.*, (2011) rapportent pour le rendement grain les valeurs suivantes 6.0, 6.3, 9.7 et 6.9 kg ha⁻¹ mm⁻¹, respectivement pour les non labour avec 0%, 30%, 60% de résidus et le labour conventionnel. Pour produire de la biomasse, ces valeurs sont de 22.5, 22.6, 29.7 et 21.7 kg ha⁻¹ mm⁻¹, respectivement pour les différents traitements cités dans l'ordre ci-dessus. Cooper et *al.*, (1987) proposent l'alternative du labour de conservation avec des résidus en couverture du sol pour améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau, dans les milieux semi- arides méditerranéens. Cette technique réduit de l'évaporation et augmente l'infiltration.

8. Efficience comparée de stockage de l'humidité sous jachères chimique et travaillée

L'évolution de l'humidité du sol sous jachères chimique et travaillée est similaire à celle notée sous la culture de blé dur, avec cependant des différences marquées entre type de jachères (Figure 11). Les différences sont moins nettes en début du cycle. L'humidité mesurée varie 16.28 à 22.38 mm, respectivement pour la jachère chimique sans couverture du sol avec les résidus et pour la jachère travaillée. Elle varie de 0 à 9.61 mm pour les deux traitements à 200 jours après le début du cycle de la culture (Figure 11).

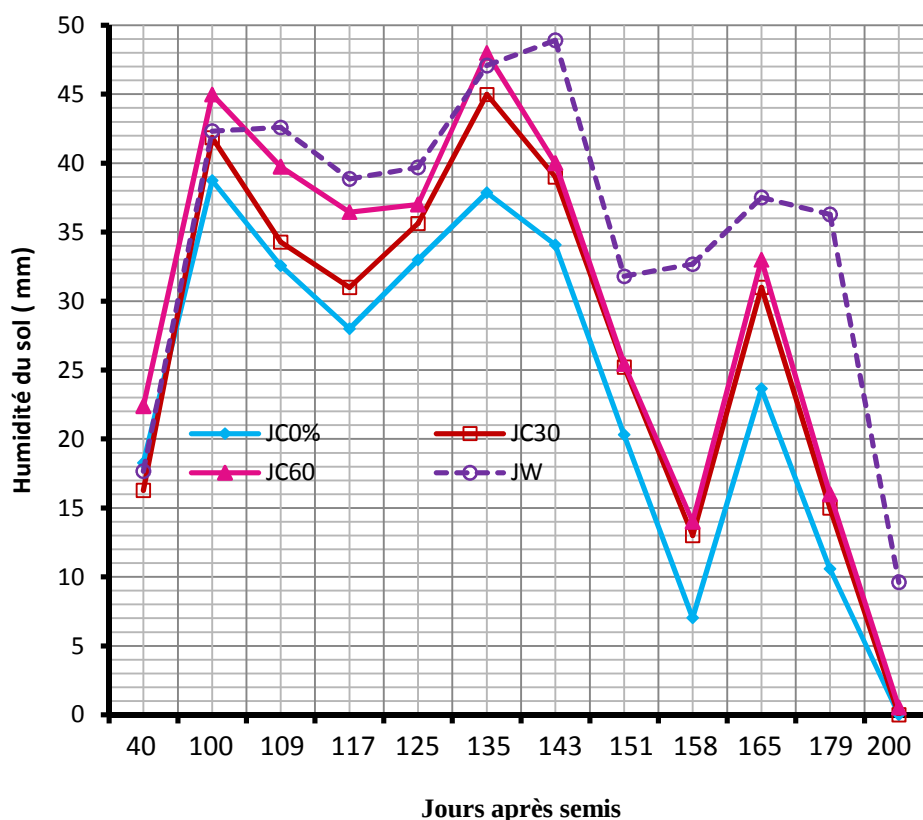


Figure 11. Evolution de l'humidité du sol sous jachère travaillée et jachère chimique dont le sol est couvert avec différents taux de résidus.

La plus grande différence d'humidité du sol, entre la jachère travaillée et la jachère chimique a été notée 158 jours après le semis. L'humidité de la jachère chimique atteint la valeur de 7.04 mm alors que celle de la jachère travaillée reste à un seuil de 32.7 mm. Sur les 40 premiers centimètres de l'horizon de surface du sol, l'humidité de la jachère travaillée est plus élevée que celle de la jachère chimique notamment à partir de 100 jours après le semis de la culture (Figure 11)

Bonfil et *al.*, (1999) mentionnent qu'au cours de l'année de jachère, la jachère chimique accumule plus d'eau et présente une meilleure infiltration comparativement à la jachère travaillée. Cependant ces auteurs rapportent que cet avantage en humidité du sol disparaît au cours de l'été suivant par évaporation à partir de l'horizon 0 – 120 mm. Ceci conduit à des rendements grains équivalents entre les deux systèmes de culture. Bonfil et *al.*, (1999) suggèrent que pour améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau verte par les cultures dans les zones où l'eau reste un facteur très limitant de la production, il faut aller vers l'adoption du système de non labour associé à la jachère chimique.

9. Densité apparente, taux de la matière organique et d'infiltration de l'eau dans le sol

Mesurée à deux dates différentes, au mois de mars et de mai 2011, la densité apparente du sol varie significativement selon le mode de travail du sol mais pas en fonction des résidus (Tableau 4). La valeur moyenne de la densité apparente passe de 1.1 en semis conventionnel à 1.25 en semis direct, en moyenne des deux horizons, 0-7 cm et 7-15 cm et des deux dates de mesure.

Tableau 4. Valeurs moyennes des variables mesurées des différents traitements étudiés.

	Labour		Test	Résidus			Test
Variables	Conventionnel	Non labour	F	0	30	60	F
Da (g/cm ³)	1.11	1.25	**	1.32	1.24	1.20	ns
MO(%)	1.29	1.38	ns	1.18	1.44	1.51	ns
K (mm/h)	56.26	23.24	**	16.07	24.63	29.00	*
Ks (mm/h)	6.88	3.36	**	1.99	2.69	5.38	**

ns, *, **: effet non significatif, significatif au seuil de 5% et 1 % selon le contraste.

Ces résultats corroborent ceux rapportés par Hannachi et *al.*, (2010) et par divers auteurs dont Lopez-Fando et Pardo (2011) qui mentionnent que la densité du sol est plus élevée en non labour comparativement à ce qu'elle est sous conduite conventionnelle. Ces résultats sont cependant en contradiction avec les résultats rapportés par Eduardo et *al.*, (2008) ; Abdellaoui et *al.*, (2011), qui rapportent le contraire. Selon Stephen et *al.*, (2006), les différences de l'effet de mode de travail du sol sont influencées par la texture du sol, la teneur en matière organique et le matériel aratoire utilisé. Bescansa et *al.*, (2006) rapportent que l'augmentation de la densité apparente en semis direct est temporaire, car le compactage initial sera compensé plus tard par le développement des pores provenant de l'activité biologique du sol. Wilhelm et *al.*, (2004) signalent une corrélation négative entre la teneur en matière organique et la densité apparente

Les résultats du taux de matière organique présente dans la couche superficielle du sol des 10 premiers centimètres, avec des valeurs de 1.29 et 1.38 %, ne révèlent aucune différence significative entre le labour conventionnel et le non labour (Tableau 4). Même l'effet des résidus n'est pas significatif, malgré que le taux de la matière organique varie de 1.18 à 1.51% (Tableau 4). La teneur en matière organique des sols céréaliers des hautes plaines est faible, prenant des valeurs inférieures à 2% (Batouche et Labiod, 1991).

A ces faibles teneurs de matière organique, il faut pratiquer plusieurs années le semis direct pour espérer voir une augmentation de la teneur en matière organique à un niveau appréciable. Les valeurs trouvées dans la présente étude sont similaires à celles rapportées Benmoussa et *al.*, (2010) qui mentionnent les valeurs variant de 1,1 à 1,5%. Mrabet (2011) mentionne que, sous conditions semi-arides marocaines, le semis direct avec des résidus en surface du sol améliorent la dynamique de la matière organique du sol dont la teneur passe de 1,4 à 2,1%.

Les résultats de la perméabilité proche de la saturation montrent un effet hautement significatif entre le non labour et le labour conventionnel, et un effet significatif entre les différent taux de couverture du sol (Tableau 4). L'eau s'infiltre dans le sol du labour conventionnel environ plus de deux fois vite que dans le sol non labouré (Tableau 4). Angar et *al.*, (2011) rapportent une augmentation du taux d'infiltration dans le temps des parcelles conduites en non labour et une stabilité au niveau des parcelles de conduites en labour conventionnel. En non labour, ce taux passe de 20 à 43 mm/h, alors qu'il s'est stabilisé autour de 20 mm/h en labour conventionnel. Pour l'effet des résidus, on observe une augmentation du taux d'infiltration en fonction de celui des résidus. Le taux d'infiltration passe de 16 à 29 mm/h respectivement de 0 à 60% de résidus. Ces résultats corroborent ceux de Scopel et Findeling (2001).

L'effet du travail du sol aussi bien que celui des résidus en surface du sol, présentent un effet hautement significatif sur la perméabilité du sol à saturation (Tableau 4). Le labour conventionnel présente une meilleure perméabilité, comparativement au non labour. La présence des résidus joue un rôle positif dans ce sens, et elle améliore la perméabilité du sol comparativement à l'absence des résidus (Tableau 4). La perméabilité du non labour avec 60% de résidus est proche de celle du labour conventionnel avec des valeurs moyennes de 5.38 et 6.88 mm/h, respectivement. Findeling (2001) indique que le taux d'infiltration est plus élevé sur les traitements paillés. L'activité plus importante de la macrofaune ainsi que la

protection assurée par les débris végétaux en décomposition maintiennent une plus forte porosité qui explique la meilleure conductivité de surface que l'on observe sous traitements paillés.

Synthèse

Synthèse

La demande algérienne en matière de céréales en général et en blé dur en particulier ne cesse d'augmenter depuis l'indépendance. Ceci appelle à une intensification des systèmes de production pour garder les importations dans des limites acceptables. Cependant pour demeurer durable cette intensification doit être basée sur le choix d'un itinéraire technique (espèce, variété, date et densité de semis, désherbage, rotation, travail du sol, fertilisation, couverture sanitaire) éprouvé pour améliorer la productivité des agro systèmes dans le strict respect de l'environnement (Martínez *et al.*, 2008).

Le présent travail cible l'adoption du non labour comme moyen pour intensifier la production du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous les conditions semi-arides des hautes plaines Sétifiennes. Dans cette région la culture du blé dur est conduite dans un système biennal blé – jachère. Le sol reçoit plusieurs façons culturales qui perturbent la structure, redistribuent la matière organique et favorisent l'érosion. Le non labour, une des composantes de l'agriculture de conservation est vu comme une alternative à même de contrer les effets négatifs causés par le labour conventionnel.

Dans cette technique le sol n'est pas perturbé, laissant les résidus des cultures en surface (Mrabet, 2011). Ces résidus maintiennent voire augmentent le taux du carbone du sol, qui est un élément essentiel pour la durabilité du système (Martínez *et al.*, 2008). De ce fait le non labour est vu comme une façon de faire l'agriculture. Il répond à une nouvelle vision dans laquelle la durabilité prend une importante place au même titre que le rendement de la culture lui-même.

Le fait que les résidus ne sont pas incorporés dans le sol, engendre plusieurs conséquences dont entre autres l'accumulation et la stratification de la matière organique en surface du sol (Heddadj *et al.*, 2005). En effet, la lente décomposition de ces résidus accumulés libère progressivement de la matière organique qui affecte les propriétés physico – chimiques et biologiques du sol (Heddadj *et al.*, 2005).

Cependant dans la région des hautes plaines la présence de l'élevage accentue la pression sur les résidus des céréales, et entre donc en concurrence directe avec le non labour dont la présence des résidus en surface du sol est indispensable. Ces résidus agissent comme une barrière vis-à-vis du rayonnement solaire, réduisant le flux direct sur la surface du sol et

de ce fait limitent l'évaporation, laissant plus d'humidité dans le sol pour la seule utilisation de la culture (Carr *et al.*, 2006). Ces résidus réduisent l'impact des pluies sur la surface du sol, réduisant ainsi l'écoulement et l'érosion hydrique, tout en favorisant l'infiltration (Mrabet, 2011).

Les résultats de la présente étude indiquent l'avantage du non labour en matière de rendement grain qui s'améliore de 25%. Cette augmentation est associée à l'amélioration de la biomasse aérienne, du rendement en paille et donc du rendement économique. La présence des résidus en surface du sol ne semble pas affectée négativement l'installation de la culture qui s'améliore de 8.4%, ainsi que le rendement grain qui répond linéairement à la présence des résidus. L'augmentation du rendement en paille est intéressante dans la mesure où dans cette région la paille trouve une grande utilisation en alimentation animale.

L'augmentation du rendement fait suite à l'amélioration sous conditions de non labour de la capacité de tallage épi, et de la fertilité des épis ce qui engendre la production d'un plus grand nombre de grains par unité de surface semée comparativement au semis conventionnel. Le poids de 1000 grains est significativement plus faible, de 14.1%, en non labour. La hauteur de la végétation ainsi que l'indice de récolte ne sont pas affectés par le mode de travail du sol ni par la présence des résidus en surface du sol.

Dans ce contexte Mrabet (2011) mentionne que le rendement grain est généralement similaire ou plus élevé que celui du labour conventionnel. L'amélioration du rendement vient d'une meilleure utilisation de l'eau, plus disponible sous non labour (Mrabet, 2011). Pala *et al.*, (2000) ne trouvent pas de différence du point de vu humidité du sol entre les deux systèmes de conduite de la céréale, sous conditions syriennes, hormis que le non labour est plus avantageux en terme de réduction des charges de la mise en place de la culture.

Dans la présente étude, les résultats indiquent que le non labour affecte la répartition de l'humidité du sol disponible entre la part qui est transpirée par la culture et celle qui est directement évaporée. La part transpirée est plus importante en non labour, probablement à cause de la présence des résidus. Ceci conduit à une meilleure utilisation de l'eau pour produire du grain et de la biomasse chez la céréale conduite en non labour comparativement à celle conduite en labour conventionnel.

Sous conditions de non labour les résultats ne montrent pas une tendance nette pour ce qui est la variation de la matière organique, probablement parce que l'expérience est encore à ses débuts. Les résultats montrent, par contre, une densité apparent plus importante en non labour, suggérant la compacité du sol, ce qui explique la perméabilité plus élevée du labour conventionnel. Carr et *al.*, (2006) mentionnent que l'absence du labour conduit à l'augmentation de la densité apparente ce qui peut éventuellement affectée négativement la croissance racinaire de la culture et limite de la nutrition minérale et hydrique en situation de non labour. Les résultats montrent aussi que dans les 40 premiers centimes de l'horizon de surface du sol, l'humidité de la jachère travaillée est plus élevée que celle de la jachère chimique. En absence de résidus, le non labour a gardé une faible humidité durant toute la campagne.

Conclusion

Conclusion

Les résultats de la présente étude indiquent que le non labour est une alternative louable pour intensifier la production du blé dur sous les conditions semi-arides des hautes plaines Sétifiennes. Le non labour présente plusieurs avantages comparativement au semis conventionnel. En plus du fait de la réduction du temps et probablement des charges de la mise en place de la culture, le non labour améliore le rendement grain qui est le principal objectif de production des agriculteurs. Cette amélioration est associée à celle de la biomasse, de la paille, de la capacité de tallage- épis et de la fertilité des épis. Elle s'explique par la réduction de la part de l'humidité évaporée au profit de la part transpirée. Ceci conduit à une meilleure utilisation des disponibilités en eau pour produire du grain et de la biomasse aérienne, sous conditions de non labour. Les résultats montrent aussi que le non-labour se caractérise par une densité apparente plus élevée. L'humidité du sol sous jachère chimique est plus faible que sous jachère travaillée, et ceci tout le long du cycle de la culture. Il faut retenir aussi, l'aspect économique de non labour qui est représenté par la suppression des couts du labour et des façons superficielles et par l'économie du temps et du carburant réalisée. La protection de l'environnement gagne aussi, avec moins de pollution, ce qui assure la durabilité des systèmes de production. Ce travail mérite une continuité pour mieux comprendre les avantages et les inconvénients du non labour avant de l'adopter comme alternative au semis conventionnel.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

- Abbas K., Abdelguerfi A.. 2005. Perspectives d'avenir de la jachère pâturée dans les zones céréalières semi-arides. *Fourrages***184**: 533-546.
- Abdellaoui Z., Fettih S., Zaghoulane O.. 2006. Etude comparative de l'effet du semis direct et du labour conventionnel sur le comportement d'une culture de blé dur. *Options Méditerranéennes***69** :115-120
- Abdellaoui Z., H. Tissekrat, A. Belhadj, O. Zaghoulane. 2011. Etude comparative de l'effet du travail conventionnel, semis direct et travail minimum sur le comportement d'une culture de blé dans la zone subhumide. *Options Méditerranéennes* **96** : 71-87.
- Aibar J. 2006. La lutte contre les mauvaises herbes des céréales en semis direct : Principaux problèmes. *Options Méditerranéennes*, **69** : 125-133.
- Al-Issa, TA., Samarah NH., 2007. The effects of tillage practices on barley production under rainfed conditions in Jordan. *American Eurasian J. Agric. Envir. Sci.***2** :75-79.
- Al-Ouda A. 2011. The role of improved regional cultural practices in the implementation of conservation agriculture in Arab countries. *Options Méditerranéennes*, **96** : 107-116.
- Angar H., Ben Haj S., Benhammouda M., 2011. Semis direct et semis conventionnel en Tunisie : les résultats agronomiques de 10 ans de comparaison. *Options Méditerranéennes* **96** : 53-59.
- Annicchiarico P., Bellah F., Chiari T., 2005. Defining sub regions and estimating benefits for a specific adaptation strategy by breeding programs: a case study. *Crop Sci.* **45**: 1741-1749.
- Azooz, R.H., Arshad MA., 1998. Soil infiltration and hydraulic conductivity under longterm no-tillage and conventional tillage systems. *Canadian Journal of Soil Science***76**: 143-152.
- Barnes J., Johnson B., Gibson K., Weller S.. 2004. Crop rotation and tillage system influence late-season incidence of giant ragweed and horseweed in Indiana soybean. *Online. Crop Management doi:10.1094/CM-2004-0923-02-BR*.
- Batouche S., Labiod H., 1991. Les sols des hautes plaines Sétifiennes : Inventaire, analyse et synthèse des études pédologiques réalisées dans cette régions de 1965 à 1985 : essais de thematisation. *Mémoire ingénieur, UFA Sétif*, 133 pages.

- Benhassine H., Aloui T., Gallali T., Bouzid T., El amri S., Benhassen R., 2008. Evaluation quantitatives et rôle de la matière organique dans les sols cultivés en zones subhumides et semi-arides méditerranéennes de la Tunisie. *Agrosolution***19** : 1–14.
- Benmahammed A., 2005. Hétérosis, transgressions et efficacité de la sélection précoce et de retardée de la biomasse du nombre d'épis et utilisation des indices chez orge (*Hordeumvulgare*L.).Thèse Doctorat. Université Constantine.125 pages.
- Benmoussa-Machraoui S., Errouissi F., Benhammouda M., Noura S.. 2010. Comparative effects of conventional and no-tillage management on some soil properties under Mediterranean semi-arid conditions in northwestern Tunisia. *Soil & Tillage Research*, **106**: 247-253.
- Benniou R., Brinis L.. 2006. Diversité des exploitations agricoles en régions semi-aride Algériennes. *Sécheresse* **17**:399-406.
- Bennoune N., 1988. The making of contemporary Algeria, 1830-1987: Colonial up heaves and post-independence development. *Cambridge Univ. Press*, 223 pages.
- Bernard A., 1911. Le dry-farming et ses applications dans l'Afrique de Nord. *Annales de géographie***114** : 411-430.
- Bernoux M., Cerri CC., Cerri CEP.,. Siqueira NM, Metay A., Perrin AS., Scopel E., Blavet D., Piccolo MDC., Pavei M., Milne E.. 2006. Cropping systems, carbon sequestration and erosion in Brazil, a review. *Agronomy for Sustainable Development* **26** :1-8.
- Bescansa P., Imaz MJ., Virto I., Enrique A., Hoogmoed WB.. 2006. Soil water retention as affected by tillage and residue management in semiarid Spain. *Soil & Tillage Research* **87** : 19–27.
- Bonfil, DJ., Mufradi I., Klitman S., Asido S.. 1999. Wheat grain yield and soil profile water distribution in a no-till arid environment. *Agron. J.***91**:368–373.
- Bouzerzour, H., Refoufi B.. 1993. Effect of sowing date and rate, and site environment on the performanceof barley cultivars grown in the Algerian high plateaus. *Rachis* **11**: 19-24.
- Bouzza A. 1990. Water conservation in wheat rotation under several management and tillage systems in semi-arid.*PhD. Dissertation, University of Nebraska, Lincoln, NE, USA*, 123 pages.

- Carr PM., Horsley RD., Martin GB.. 2006. Impact of tillage and crop rotation on grain yield of spring wheat: I. Tillage effect. *Online. Crop Management* doi: 10.1094/CM-2006-1018-01-RS.
- Chabalier PF., Médoc JM., Macary HS., Caillleaux H.. 2006. Guide de la fertilisation organique à la Réunion. *Ed. CIRAD*, 302 pages.
- Chen C., Payne AW., Smiley RW., Stoltz M.. 2003. Yield and water use efficiency of eight wheat cultivars planted on seven dates in Northeastern Oregon. *Agron. J.* **95**: 836 -843.
- Chenaffi H., Aïdaoui A., Bouzerzour H., Saci A.. 2006. Yield response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar Waha to deficit irrigation under semi-arid growth conditions. *Asian Journal of Plant Sciences* **5** : 854-860.
- Chenaffi H., Hannachi A., Touahria O., Fellahi ZEA, Makhlouf M., Bouzerzour H.. 2011. Tillage and residue management effect on durum wheat [*Triticum turgidum* (L.) Thell.ssp. *turgidum* conv. *durum* (Desf.) MacKey] growth and yield under semi- arid climate. *Advances in Environmental Biology* **5**: 3231-3240.
- Cooper PJM., Gregory D., Harris H. . 1987. Improving water-use efficiency in the rainfed farming systems of West Asia and North Africa. *Exp. Agric.* **23** : 113–158.
- Cousin I., Vogel HJ., Nicoullaud B.. 2004. Influence de la variabilité spatiale de la structure des sols cultivés sur les transferts d'eau. Conséquences d'une réduction du travail du sol. *Etude et Gestion des Sols* **11** : 69-79.
- CropStat 7.2., 2008. Software package for windows. Manila. *International Rice Research Institute (IRRI)*.
- De Vita P., Paolo E., Fecondo G., Di Fonzo N., Pisante M.. 2007. No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. *Soil & Tillage Research* **92**: 69-78.
- Debashis C., Shantha N., Pramila A., Gupta VK., Tomar RK., Garg RN., Sahoo RN., Sarkar A., Chopra UK.. 2008. Effect of mulching on soil, plant water status, growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management* **95**: 1323–1334.
- Derpsch R., 1998. Historical review of no-tillage cultivation of crops. *Proceedings of the International Workshop on Conservation Tillage for Sustainable Agriculture, Harare, Zimbabwe*. <http://www.rolf-derpsch.com>.

- Djenane A., 1997. L'exploitation agricole familiale comme modèle de restructuration du secteur agricole public en Algérie : cas du Sétifois. *Option méditerranéennes* **12** : 251-268.
- Doran JW. 1980. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **54**: 1013-1016.
- Duchaufour, J. 1997. Abrégé de pédologie. Sol, végétation, environnement. *Ed Masson, Paris*, 291 pages.
- Eduardo M., Juan-Pablo F., Paola S., Susana V., Acevedo E.. 2008. Soil physical properties and wheat root growth as affected by no-tillage and conventional tillage systems in Mediterranean environment of Chile. *Soil & Tillage Research* **99** : 232–244.
- Ehlers W., Goss M., 2003. Water dynamics in plant production. *CABI Publishing, Cambridge, UK*. 350 pages
- El-Brahli A., Bahri A., Mrabet R.. 2001. Résultats des essais d'introduction des techniques de conservation de l'eau chez les agriculteurs dans la région de la Chaouia (Maroc). *Actes des 1^{ères} journées des Rencontres Méditerranéennes sur le Semis Direct. Mrabet et al. (eds)*. 22-32.
- Fellahi Z., Hannachi A., Chenaffi H., Makhlouf M., Bouzerzour H.. 2011. Effets des résidus et du travail du sol sur la cinétique d'accumulation de la biomasse, le rendement et l'utilisation de l'eau du blé dur (*Triticum durum* Desf., variété MBB) sous conditions climatiques des hautes plaines Sétifiennes *Annales des Sciences et la Technologie* (sous presses).
- Feller C., Albrecht A., Blanchart E., Cabidoche YM., Chevallier T., V. Eschenbrenner, C. Hartmann, Larré-Larrouy MC., N'Dandou JF.. 2001. Soil organic carbon sequestration in tropical areas. General considerations and analysis of some edaphic determinants for Antilles soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **61**: 19-31.
- Findeling A. 2001. Étude et modélisation de certains effets du semis direct avec paillis de résidus sur les bilans hydrique, thermique et azoté d'une culture de maïs pluvial au Mexique. *Thèse de Doctorat de l'ENGREF, Montpellier*, 355 pages.
- Glab T., Kulig B.. 2008. Effect of mulch and tillage system on soil porosity under wheat (*Triticum aestivum* L.). *Soil & Tillage Research* **99** : 169-178.

- Gregory PJ., Tennant D., Belford RK.. 1992. Root and shoot growth, water and light use efficiency of barley and wheat crops grown on a shallow duplex soil in a Mediterranean type environment. *Aust. J. Agric. Res.* **43** : 555–573.
- Hakimi M. 1993. L'évolution de la culture de l'orge : le calendrier climatique traditionnel et les données agro météorologiques modernes. *In the agrometeorology of rainfed barley-based farming systems. Proceeding of an International symposium. Ed. Jones M., Marthys G., Rijks D.* 157 – 166.
- Heddadj D., Gascuel-Odoux C., Cotinet P., Hamon Y..2005. Mode de travail du sol, ruissellement et propriétés hydrodynamiques sur un dispositif expérimental de l'Ouest de la France. *Étude et Gestion des Sols***12** : 53 – 66.
- Hemmat A., Eskandari I.. 2006. Dryland winter wheat response to conservation tillage in a continuous cropping system in northwestern Iran. *Soil & Tillage Research* **86** : 99-109.
- Herbek J., Murdock L.. 2006. A comprehensive guide to wheat management in Kentucky – No-tillage planting. www.uky.edu/.../ID125/Wheat_Management_Kentucky.html
- Holland JM. 2004. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: Reviewing the evidence. *Agric. Ecosyst. Environ.* **103** : 1–25.
- IPCC. 2001. Contribution of working group I to the third assessment report of Intergovernmental Panel on Climate Change. *Houghton JT., V. Ding, DJ. Griggs, M. Noguer, PXD. Van Der Linden, K. Maskell (Eds). Cambridge University Press, Cambridge.*
- Jeroni G., James F., Robert S., Hipolito M.. 2007. Water relations and stomatal characteristics of Mediterranean plants with different growth forms and leaf habits: responses to water stress and recovery. *Plant & Soil***90** :139–155.
- Kabakci H., Chevalier PM., Papendick RI..1993. Impact of tillage and residue management on dryland spring wheat development. *Soil & Tillage Research***26** : 127-137.
- Kassam AH. 1981. Climate, soil and land resources in North Africa and West Asia. *Plant & Soil***58** :1-29.
- Kline R. 2000. Estimating crop residue cover for soil erosion control. *Soil factsheet. British Columbia.*

- Kribaa M., Hallaire V., Curmi P., Lahmar R.. 2001. Effects of various cultivation methods on the structure and hydraulic properties of soil in semi-arid climate. *Soil & Tillage Research***60** : 43-53.
- Labreuche J., Le souder C., Castillon P., Oury JF., Real B., Germon JC., De Tourdonnet S.. 2007. Evaluation des impacts environnementaux des Techniques Culturelles Sans Labour en France. *ADEME-ARVALIS Institut du végétal-INRA-APCA-AREAS-ITB CETIOMIFVV*. 400 pages.
- Lahmar R., Bouzerzour H.. 2011. Du malch terreux au mulch organique. Revisiter le dry-farmaing pour assurer une transition vers l'agriculture durable dans les hautes plaines Sétifiennes. *Options Méditerranéennes*, **96** : 99-106.
- Lahmar R., Arrúe JL.. 2007. Knowledge assessment and sharing on sustainable Agriculture – main results, gaps in knowledge and challenges in the Mediterranean platform. in: *Lahmar R., JL. Arrúe, JE. Denardin, RK. Gupta, MFS. Ribeiro, S. de Tourdonnet (Eds), Knowledge assessment and sharing on sustainable Agriculture. Montpellier, CIRAD, 6 pages.*
- Lal R. 1983. No-till farming: Soil and water conservation and management in the humid and sub-humid tropics. *IITA Monograph N° 2, Ibadan, Nigeria*, 43 pages.
- Li S. J. Chen, F. Chen, L. Li, H. Zhang. 2008. Characteristics of growth and development of winter wheat under zero tillage in North China Plain. *Acta Agronomica Sinica***34** : 290–296.
- Lithourgidis S., Dhima KV., Damalas CA., Vasilakoglou IB., Elefthero IG.. 2006. Tillage effects on wheat emergence and yield at varying seeding rates and on labor and fuel consumption. *Crop Sci.***46** :1187-1192.
- LópezMV., Arrúe JL.. 1997. Growth, yield and water use efficiency of winter barley in response to conservation tillage in a semi-arid region of Spain.*Soil & Till.Research.***44** : 35-54.
- Lopez-Fando C., Pardo MT.. 2012. Use of a partial-width tillage system maintains benefits of no-tillage in increasing total soil nitrogen. *Soil& Tillage Research***118** : 32-39..
- Lützelschwab C. 2007. Populations et économies des colonies d'implantation européennes en Afrique (Afrique du sud, Algérie, Kenya et Rhodésie du Sud). *Annales de DémographieHistorique***113** : 33-58.

- Martínez E., Fuentes JP., Silva P., Valle S., Acevedo E.. 2008. Soil physical properties and wheat root growth under no-tillage and conventional tillage systems in a Mediterranean environment of Chile. *Soil & Tillage Research* **99** : 232–244
- McAneney KJ., Arrúe JL.. 1993. A Wheat-fallow rotation in northeastern Spain: Water balance-yield consideration. *Agronomie* **13** : 481-490.
- Monteith JL. 1990. Steps in crop climatology. In: *Proc. Int. Conf. on Dryland Farming - Challenges in Dryland Agriculture: A Global Perspective*. Eds. Unger, PW., TV. Sneed, WR. Jordan. 213-219.
- Mrabet R. 2004. Le système de semis direct en milieu semi-aride marocain: Aperçu sur les acquis de la recherche. In: *Deuxièmes rencontres méditerranéennes sur le semis direct, Tabarka (Tunisie)*. 54–57.
- Mrabet R. Bourarach EH., 2001. Le semis direct : une technologie avancée pour une agriculture durable au Maroc. *PNTTA* **76** : 3-9.
- Mrabet R., 2011. Effects of residue management and cropping systems on wheat yield stability in a semiarid Mediterranean clay soil. *American Journal of Plant Sciences* **2** : 202-216
- Pala, M., Harris HC., Ryan J., Makboul R., Dozom S.. 2000. Tillage systems and stubble management in a Mediterranean-type environment in relation to crop yield and soil moisture. *Experimental Agriculture* **36**: 223-242.
- Rieger S., Richner W., Streit B., Frossard E., Liedgens M., 2008. Growth, yield, and yield components of winter wheat and the effects of tillage intensity, preceding crops, and N fertilisation. *Eur. J. Agronomy* **28** : 405–411.
- Sadeghi H. Bahrani MJ., 2009. Effects of crop residue and nitrogen rates on yield and yield components of two dryland wheat (*Triticumaestivum* L.) cultivars. *Plant Prod. Sci.* **12**: 497-502.
- Santiveri F., Lloveras J., Martí S., Cantero-Martínez C., 2003. Crop emergence and early crop growth of barley affected by crop residue under different tillage systems and N fertilization rates in semiarid conditions of Northeast Spain . In *Cantero-Martínez C. & Gabiña D. (ed.). Mediterranean rainfed agriculture: Strategies for sustainability. Final Seminar of the Regional Action Program on Rainfed Agriculture (RAP-RAG), Zaragoza (Spain)*, 26-37.

- Scopel E., Findeling A.. 2001. Conservation tillage impact on rainfed maize production in semi-arid zones of western Mexico: importance of runoff reduction. *World Congress on Conservation Agriculture, Madrid*, .
- Scopel E., Douzet JM, Macena da Silva FA., Cardoso A., Moreira JAA., Findeling A., Bernoux M., 2005. Impacts des systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale sur la dynamique de l'eau, de l'azote minéral et du carbone du sol dans les cerrados brésiliens. *Cahiers Agricultures***14** : 71-75.
- Sebillotte M. 1985. La jachère. Éléments pour une théorie. In : *A travers champs, agronomes et géographes. ORSTOM*, 175-229
- Seguy L., et Bouzinac S.. 2005. Rapport synthétique CIRAD Brésil 2002 - 2004. Brésil, CIRAD, 126 pages.
- Six J., Conant T., Paul A. , Paustian K., 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant & Soil***241** : 155-176.
- Smika DE. 1990. Fallow management practices for wheat production in the central Great Plains. *Agron. J.* **82** : 319–323.
- Steel RGD., Torrie JH.. 1982. Principles and procedures of statistics. 3rd Ed. McGraw-Hill International Book Co. London. 283 pages
- Stephen DS., Carol EL., Charles WK.. 2006. Soil quality response to tillage and crop residue removal under subarctic conditions. *Soil & Tillage Research* **91** :15–21.
- Tobias Ch. 1968. Mesure au laboratoire de la perméabilité d'échantillons de sol non remaniés. *Cahiers ORSTOM***VI** : 19 – 33.
- Tomas G., Bogdan K.. 2008. Effect of mulch and tillage system on soil porosity under wheat (*Triticumaestivum* L.). *Soil& Tillage Research***99** :169–178.
- Triomphe B., Goulet F., Dreyfus F., De Tourdonnet S.. 2007. Du labour au non/labour: Pratiques, innovations et enjeux du sud au nord. In *Bourrigaud, R and F. Sigaut (eds.): Nous Labourons. Actes du Colloque «Techniques de travail de la terre, hier et aujourd'hui, ici et là-bas, Centre d'Histoire du travail*, 369-382.
- Truman CC., Reeves DW., Shaw JN., Motta AC., Burmester CH., Raper RL., Schwab EB., 2003. Tillage impacts on soil property, runoff, and soil loss variations from a RhodicPaleudult under simulated rainfall. *J. Soil Water Conserv.* **58** : 258–267.

- Unger PW., Langdale GW., RI. Papendick.1988. Role of crop residues - improving water conservation and use. *In: Cropping Strategies for Efficient Use of Water and Nitrogen. Hargrove WL. (ed.) ASA, Special publication 51: 69-100.*
- Unger PW., Baumhardt RL., 1999. Factors related to dryland grain sorghum yield increases 1939 through 1997. *Agron. J.***91** : 870-875.
- Verhulst N., Govaerts B., Nelissen VD., Sayre K., Raes D., Deckers J., Crossa J.. 2011. The effect of tillage, crop rotation and residue management on maize and wheat growth and development evaluated with an optical sensor. *Field Crops Research***120** : 58–67.
- Wilhelm WW., Bouzerzour H., Power JF.. 1989. Soil disturbance-residue management effect on winter wheat growth and yield. *Agron. J.***81**:581-588.
- Wilhelm WW., Johnson JMF., Hatfield JL., Voorhees WB.,. Linden DR., 2004. Crop and soil productivity response to corn residue removal: A literature review. *Agron. J.* **96** :1-15.
- Yoro G., Godo G.. 1990. Les méthodes de mesure de la densité apparente : Analyse de la dispersion des résultats dans un horizon donné. *Cahiers ORSTOMXXV*: 423-429.

Annexes

Résultats de l'analyse du sol

Paramètres analysés	Traitements		
	semis direct	Jachère Chimique	Travail conventionnel
Argile %	32	32	36
Limon %	40	32	28
Sable %	32	28	40
Ca en méq/100g	16,03	38,74	36,35
Mg en méq/100g	1,36	1,25	2,27
Na en méq/100g	0,57	0,62	0,31
K ppm	327,8	334,8	166,8
N %	0,14	0,13	0,13
pH	7,63	7,76	7,68
Carbone Total en %	16,12	12,31	12,54
Conductivité $\mu\text{s/cmre}$	104	102	100

Tableaux de l'analyse de la variance

Nombre de plantes/m²

Source de variation	Ddl	Sce	Cm	ratio	Prob	Cv
Traitements	3	304,21	101,40	0,27	0,849	7,66
Répétitions	5	301,33	60,27	0,16	0,972	
Résidus	15	5690,60	379,37	1,00	0,500	
Total	23	6296,13	273,75			NS

Hauteur de végétation

Source de variation	Ddl	Sce	Cm	ratio	Prob	Cv
Traitements	3	109,90	36,63	1,62	0,200	6,93
Répétitions	12	154,31	12,86	0,57	0,852	
Résidus	36	811,85	22,55	1,00	0,500	
Total		1076,06	21,10			NS

Biomasse totale

Source de variation	Ddl	Sce	Cm	ratio	Prob	Cv
Traitements	3	89855,10	29951,700	78,84	0,000	2,48
Répétitions	2	1033,51	516,754	1,36	0,326	
Résidus	6	2279,37	379,896	1,00	0,500	
Total	11	93168,00	8469,810			**

Rendement grain

Source de variation	Ddl	Sce	Cm	ratio	Prob	Cv
Traitements	3	12980,20	4326,7300	24,96	0,001	4,50
Répétitions	2	169,82	84,9110	0,49	0,639	
Résidus	6	1040,28	173,3800	1,00	0,500	
Total	11	14190,30	1290,0300			**

Rendement en paille

Source de variation	Ddl	Sce	Cm	ratio	Prob	Cv
Traitements	3	35430,10	11810,0000	73,87	0,000	2,57
Répétitions	2	481,45	240,7240	1,51	0,295	
Résidus	6	959,20	159,8670	1,00	0,500	
Total	11	36870,70	3351,8800			**

Nombre d'épis/m²

Source de variation	Ddl	Sce	Cm	ratio	Prob	Cv
Traitements	3	12074,60	4024,86	5,94	0,007	9,98
Répétitions	5	343,98	68,80	0,10	0,988	
Résidus	15	10171,80	678,12	1,00	0,500	
Total	23	22590,40	982,19			**

Nombre de grain par mètre carré

Source de variation	Ddl	Sce	Cm	ratio	Prob	Cv
Traitements	3	13515300,00	4505090,00	30,50	0,001	6,65
Répétitions	2	24134,60	12067,30	0,08	0,922	
Résidus	6	886117,00	147686,00	1,00	0,500	
Total	11	14425500,00	1311410,00			**

Nombre de grain par épis

Source de variation	Ddl	Sce	Cm	ratio	Prob	Cv
Traitements	3	168,08	56,0256	85,91	0,000	3,63
Répétitions	2	0,91	0 ,453471	0,70	0,538	
Résidus	6	3,91	0,6521	1,00	0,500	
Total	11	172,90	15,7179			**

Poids de milles grains

Source de variation	Ddl	Sce	Cm	ratio	Prob	Cv
Traitements	3	231,36	77,1194	27,80	0,001	3,24
Répétitions	2	1,57	0,7841	0,28	0,765	
Résidus	6	16,65	2,7744	1,00	0,500	
Total	11	249,57	22,6884			**

Rendement économique

Source de variation	Ddl	Sce	Cm	ratio	Prob	Cv
Traitements	3	35226,90	11742,3000	53,96	0,000	3,01
Répétitions	2	399,75	199,8740	0,92	0,451	
Résidus	6	1305,71	217,6180	1,00	0,500	
Total	11	36932,40	3357,4900			**

Indice de récolte

Source de variation	Ddl	Sce	Cm	ratio	Prob	Cv
Traitements	3	4,57	1,5247	1,15	0,404	1,08
Répétitions	2	0,92	0,4575	0,34	0,724	
Résidus	6	7,97	1,3291	1,00	0,500	
Total	11	13,46	1,2240			NS

Efficienne d'utilisation d'eau du rendement grain

Source de variation	Ddl	Sce	Cm	ratio	Prob	Cv
Traitements	3	11,2949	3,7650	24,96	0,001	4,50
Répétitions	2	0,1478	0,7389	0,49	0,639	
Résidus	6	0,9052	0,1509	1,00	0,500	
Total	11	12,35	1,1225			**

Efficienne d'utilisation d'eau de la biomasse totale

Source de variation	Ddl	Sce	Cm	ratio	Prob	Cv
Traitements	3	78,1885	26,0628	78,84	0,000	2,48
Répétitions	2	0,8993	0,4497	1,36	0,326	
Résidus	6	1,9834	0,3306	1,00	0,500	
Total	11	81,07	7,3701			**

Humidité du sol sous labour conventionnel et non labour

Source de variation	Ddl	Sce	Cm	ratio	Prob	Cv
Traitements	3	121,1950	40,3982	1,73	0,158	26,19
Rép*Traitements	8	387,025	48,3781	2,07	0,037	
Dates	12	65707,500	5475,6200	234,83	0,000	
Traits*Dat	36	1255,0700	34,8630	1,5	0,036	
Profondeurs	3	37807	12602,3000	540,48	0,000	
Dat*Prof	36	20291,9000	563,664	24,17	0,000	
Trait*Prof	9	65,9029	7,3225	0,31	0,970	
Trait*Dat*Prof	108	1668,1100	15,4455	0,66	0,995	
Résidus	408	9513,3600	23,3171			
Total	623	136817,0000	219,61			NS

Humidité du sol sous jachères chimique et travaillée

Source de variation	Ddl	Sce	Cm	ratio	Prob	Cv
Traitements	3	8737,5900	2912,5300	54,19	0,000	26,09
Rép*Traitement s	8	1064,4500	133,0560	2,48	0,013	
Dates	12	90131,7000	7510,9800	139,76	0,000	
Traits*Dat	36	8097,4500	224,9290	4,19	0,000	
Profondeurs	3	108872,0000	36290,7000	675,26	0,000	
Dat*Prof	36	21739,0000	603,8600	11,24	0,000	
Trait*Prof	9	3007,0500	334,1160	6,22	0,000	
Trait*Dat*Prof	108	6621,3000	61,3083	1,14	0,184	
Résidus	408	21927,2000	53,7431			
Total	623	270198,0000	433,7040			**

Densité apparente

Source de variation	Ddl	Sce	Cm	ratio	Prob	Cv
Traitements	3	0,1265	0,042	9,08	0,002	5,59
Rép/Traitements	4	0,020	0,005	1,10	0,400	
Dates	1	0,112	0,112	24,07	0,000	
Traitements*Dates	3	0,013	0,004	0,95	0,449	
profondeur	1	0,006	0,006	1,26	0,284	
Dates*Profondeur	1	0,000	0,000	0,01	0,929	
Traitements*profon	3	0,012	0,004	0,88	0,483	
Trai*dates*profon	3	0,006	0,002	0,4	0,761	
Résidus	12	0,056	0,005			
Total	31	0,351	0,011			**

Taux de la matière organique

Source de variation	Ddl	Sce	Cm	ratio	Prob	Cv
Traitements	3	0,1348	0,4496	0,27	0,843	29,83
Répétitions	1	0,1602	0,1602	0,10	0,769	
Résidus	3	0,49	0,1646	1,00	0,500	
Total	7	0,64	0,9212			NS

La teneur relative en eau des feuilles

Source de variation	Ddl	Sce	Cm	ratio	Prob	Cv
Traitements	3	780,67	260,2240	9,32	0,000	7,02
Rép/Traitements	36	1444,17	40,1159	1,44	0,079	
Dates	3	11569,30	3856,4500	138,11	0,000	
Traitements*Dates	9	222,85	24,7606	0,89	0,54	
Résidus	108	3015,7	27,9231			
Total	159	17032,7	107,124			**

Perméabilité proche à la saturation

Source de variation	Ddl	Sce	Cm	ratio	Prob	Cv
Traitements	3	2713,6800	904,5590	67,70	0,000	11,61
Répétitions	2	16,6257	8,3129	0,62	0,571	
Résidus	6	80,1668	13,3611			
Total	11	2810,47	255,4970			**

La perméabilité à la saturation

Source de variation	Ddl	Sce	Cm	ratio	Prob	Cv
Traitements	3	47,2546	15,7515	391,80	0,000	4,73
Répétitions	2	2,4238	1,2119	30,14	0,010	
Résidus	6	0,2412	0,0402	1,00	0,500	
Total	11	49,92	4,5382			**

Calcul du contraste : non labour vs labour conventionnel

Variables	$\sum(Ci*TT)$	$\sum Ci^2$	$\sum (Ci*TT)^2/(r*\sum Ci^2)$	F_{obs}	F p=0,99	F p=0,95	
RDT	557,14	12	8622,33	49,73	9,33	4,75	**
NE	238,29	12	788,64	1,16	9,33	4,75	ns
PMG	148,03	12	148,03	53,36	9,33	4,75	**
NGM ²	17989,86	12	8989862,86	60,87	9,33	4,75	**
NGE	152,84	12	152,84	234,36	9,33	4,75	**
BIO	1504,45	12	62871,23	165,50	9,33	4,75	**
PLL	947,31	12	24927,83	155,93	9,33	4,75	**
RDTeco	936,07	12	24339,43	111,84	9,33	4,75	**
HT	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
HI	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
EUE _{bio}	44,38	12	54,71	165,50	9,33	4,75	**
EUE _{gr}	16,43	12	7,50	49,73	9,33	4,75	**
PLT	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
MO	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Da	1,23	12	0,06	13,57	9,33	4,75	**
K	-297,23	12	2454,07	183,67	9,33	4,75	**
Ks	-31,76	12	28,03	697,28	9,33	4,75	**

Calcul du contraste : effet linéaire des résidus

Variables	$\sum(Ci*TT)$	$\sum Ci^2$	$\sum (Ci*TT)^2 / (r*\sum Ci^2)$	F_{obs}	F p=0,99	F p=0,95	
RDT	-161,25	2	4333,59	24,99	99,00	19,00	*
NE	-129,99	2	2816,23	4,15	99,00	19,00	ns
PMG	11,28	2	21,21	7,64	99,00	19,00	ns
NGM ²	-4447,05	2	3296042,28	22,32	99,00	19,00	*
NGE	-6,65	2	7,37	11,30	99,00	19,00	ns
BIO	-377,28	2	23722,99	62,45	99,00	19,00	*
PLL	-216,02	2	7777,73	48,65	99,00	19,00	*
RDTeco	-247,67	2	10222,99	46,98	99,00	19,00	*
HT	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
HI	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
EUE _{bio}	-11,13	2	20,64	62,45	99,00	19,00	*
EUE _{gr}	-4,76	2	3,77	25,00	99,00	19,00	*
PLT	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
MO	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Da	0,18	2	0,01	1,74	99,00	19,00	ns
K	-38,79	2	250,81	18,77	99,00	19,00	ns
Ks	-81,04	2	1094,70	27229,43	99,00	19,00	**

Calcul du contraste : effet quadratique des résidus

Variables	$\sum(C_i \cdot TT)$	$\sum C_i^2$	$\sum (C_i \cdot TT)^2 / (r \cdot \sum C_i^2)$	F_{obs}	F p=0,99	F p=0,95	
RDT	-20,80	6	24,03	0,14	10,90	5,14	ns
NE	-171,93	6	1642,22	2,42	10,90	5,14	ns
PMG	11,28	2	21,21	7,64	10,90	5,14	**
NGM ²	-4704,09	6	1229359,04	8,32	10,90	5,14	*
NGE	-11,90	6	7,87	12,06	10,90	5,14	**
BIO	-242,25	6	3260,36	8,58	10,90	5,14	*
PLL	-221,45	6	2724,55	17,04	10,90	5,14	**
RDTeco	-109,38	6	664,70	3,05	10,90	5,14	ns
HT	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
HI	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
EUE _{bio}	-7,15	6	2,84	8,58	10,90	5,14	*
EUE _{gr}	-0,61	6	0,02	0,14	10,90	5,14	ns
PLT	ns		ns	ns	ns	ns	ns
MO	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Da	0,06	6	0,00	0,06	10,90	5,14	ns
K1	-12,58	6	8,79	0,66	10,90	5,14	ns
Ks	-54,83	6	167,0	4154,74	10,90	5,14	**