

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Université Ferhat Abbas Sétif 1
Faculté des Sciences de la
Nature et de la vie



جامعة فرحات عباس، سطيف 1
كلية علوم الطبيعة و الحياة

Département des Sciences Agronomiques

N°117/SNV/2012

MÉMOIRE

Présenté par : **BOUDIAR Ridha.**

Pour obtenir le diplôme de **Magister**

Option : Production Végétale et Agriculture de Conservation

THÈME

**ETUDE COMPARATIVE DES EFFETS DE TRAVAIL DU SOL
CONVENTIONNEL ET LE SEMIS DIRECT SUR L'EVOLUTION DU SOL
EN REGION SEMI-ARIDE.**

Soutenu publiquement le 07/01/2013

DEVANT LE JURY

Président	: M ^r BOUNECHADA M.	MCA à UFA Sétif 1.
Rapporteur	: M ^r FENNI M.	Prof à UFA Sétif 1.
Examineur	: M ^r BENMAHAMMED A	Prof. à UFA Sétif 1.
Examineur	: M ^r HAFSI M. .	Prof à UFA Sétif 1.

Année universitaire : 2011/2012.

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à :

Mes chers parents

Ridha Boudiar

Remerciement

Au terme de ce travail, Je remercie Allah, le bon Dieu miséricordieux de m'avoir aidé à réaliser ce travail.

Je tiens à adresser l'expression de mes vifs remerciements à :

Mr Fenni Mohamed, professeur à l'université de Farhat Abbas Sétif d'avoir accepté de m'encadrer, et pour son aide dans l'encadrement de mon travail ; ses conseils, sa disponibilité, ses encouragements et sa patience.

Membre de jury, Bounecheda M (maitre de conférence à l'université de à l'université de Farhat Abbas), Professeur Benmahamed A et Miloud Hafsi (professeurs à l'université de à l'université de Farhat Abbas Sétif) pour m'avoir accepté d'examiner mon travail ; ses remarques et conseils me seront profitables.

Mr Hafsi Miloud, professeur à l'université de Farhat Abbas Sétif, pour ses conseils précieux en statistique

Mr Makhlouf Abd El Hamid, maitre de conférence à l'université de à l'université de Farhat Abbas pour ses aides et ses conseils pendant toute la période de l'expérimentation.

Je tiens à remercier également **Mr Sammar Mohamed fouzi** Maitre assistant au centre universitaire d' El Tarf pour ses efforts pour les analyses du sol et ses conseils précieux surtout en statistique.

Je tiens à remercier également tout le personnel de l'ITGC, pour le bon accueil dans la station expérimentale.

Mes sincères remerciements vont également à **Mr Nadjem Kamel** pour le bon parcours qu'on a fait ensemble et aussi à **Mrs : Fortas Billel et Hamsi Kheirdine** (Ingénieurs en agronomie) pour leur aide sur le terrain.

Liste des tableaux

Tableau 1. les différentes méthodes d'analyse utilisées par Fertial.....	35
Tableau 02. Caractéristiques physico-chimiques moyennes de l'horizon 0-20 cm du site expérimental.....	38
Tableau 03. Carré moyen de l'analyse de la variance des analyses du sol étudié sur une profondeur de 20cm.....	42
Tableau 04. Valeurs moyennes de quelques éléments chimiques étudiés.....	44
Tableau 05. Carré moyen de l'analyse de la variance de l'humidité prise à différentes dates..... au cours du cycle des cultures sur les profondeurs: 0-10cm, 10-20cm, 20-30cm.....	49
Tableau 06. Valeurs moyennes de l'humidité du sol prélevée à différentes dates et profondeurs.....	51
Tableau 07. Carré moyen de l'analyse de la variance de la densité apparente à différentes dates.....	53
Tableau 08. Valeurs moyenne de la densité apparente au niveau la profondeur 0-7cm.....	53
Tableau 09. Carré moyen de l'analyse de la variance de la perméabilité.....	55
Tableau 10. Valeurs moyenne de la perméabilité.....	56
Tableau 11. Carré moyen de l'analyse de la variance des caractères mesurés chez la culture de blé dur.....	58
Tableau 12. Valeurs moyennes des caractères mesurés chez la culture de blé dur.....	58
Tableau 13. Carré moyen de l'analyse de la variance de la biomasse aérienne accumulée au cours du cycle de la culture de blé dur et sa répartition entre feuilles, tiges et épis.....	59
Tableau 14. Coefficients de corrélation entre les variables mesurées.....	61
Tableau 15. Carré moyen de l'analyse de variance les caractères mesurés chez la culture de lentille.....	62
Tableau 16. Valeurs moyennes des variables mesurées chez la culture de lentille.....	62
Tableau 17. Carré moyen de l'analyse de variance de la matière sèche totale à différentes date.....	63
Tableau 18. Coefficients de corrélation entre les variables mesurées.....	64
Tableau 19. Carré moyen de l'analyse de variance des caractères mesurés chez l'association pois-orge.....	65
Tableau 20. Carré moyen de l'analyse de variance de la matière sèche totale à différentes dates.....	65
Tableau 22. Coefficients de corrélation entre les variables mesurées.....	67
Tableau 23. les adventices présentes dans le site expérimental au cours de la campagne d'étude.....	68
Tableau 24. La contribution des mono et dicotylédones dans les adventices recensés.....	69
Tableau 25. Classe de fréquence et fréquence des espèces d'adventices recensées.....	70
Tableau 26. Carré moyen de l'analyse de la variance du peuplement d'adventices levées.....	71
Tableau 27. Valeurs moyennes des adventices mono et dicotylédones.....	72
Tableau 28. Carré moyen de l'analyse de la variance de la biomasse des adventices.....	74
Tableau 29. Valeurs moyennes de la biomasse des adventices.	75

Liste des figures

Figure 01. Température, moyenne mensuelle, et pluviométrie enregistrées au cours des trois dernières compagnes sur le site expérimental de la station expérimentale agricole de l'ITGC de Sétif.....	29
Figure 02. Schéma du protocole expérimental de l'essai « Split-Plot » pour la 3 ^{ème} année.....	31
Figure 03. L'opération de prélèvement du sol pour la mesure de la densité apparente par la méthode de cylindre..	34
Figure 04. L'opération de la mesure de la vitesse d'infiltration avec l'appareil de Muntz.....	34
Figure 05. Texture du sol étudié selon le triangle de textures.....	40
Figure 06. La délimitation des différents horizons du profil cultural étudié.....	40
Figure 07. Variation du taux carbone total sous l'effet du travail du sol.....	42
Figure 08. Variation du taux phosphore sous l'effet du travail du sol.....	43
Figure 09. Variation du taux du potassium sous l'effet du travail du sol.....	45
Figure 10. Variation du taux du calcium sous l'effet du travail du sol	45
Figure 11 : variation de phosphore en fonction du type de rotation.....	46
Figure 12. Variation de potassium en fonction du type rotation	47
Figure 13 : variation de calcium en fonction du type rotation	47
Figure 14. Variation de la densité apparente en fonction des dates et des travaux culturaux (SD, TCS, TC) au niveau la première profondeur.....	50
Figure 15. Evolution la densité apparente sol (0-7 cm) au cours de la compagne agricole sous l'effet du travail du sol.....	54
Figure 16. Ecart à la moyenne de l'essai de la perméabilité en fonction travail du sol (A) et la culture (B).....	54
Figure 17. Variation de la matière sèche total au cours du cycle de blé (A) et dans les organes (feuilles, tiges, épis) (B) sous l'effet du travail du sol.....	60
Figure 18. Variation de la matière sèche totale pendant le cycle de la culture sous l'effet du travail du sol.....	63
Figure 19. Variation de la matière sèche totale sous l'effet du travail du sol.....	66
Figure 20: Evolution de la matière sèche au cours du cycle de la culture sous l'effet du travail du sol.	66
Figure 21. Les fréquences des familles d'adventices recensées au cours de compagne d'étude.....	69
Figure 22. Comparaison du nombre d'adventices compté au m ² des monocotylédones, dicotylédones et le nombre total des adventices sous l'effet de mode de travail du sol.....	73
Figure 23. Nombre d'adventices compté au m ² des monocotylédones, dicotylédones et le total des adventices en fonction le type de culture.....	73
Figure 24. L'effet du travail du sol sur la biomasse des adventices au mètre carré.....	75

Liste d'abréviations

AC	Agriculture de conservation
B	La culture de blé
Ca	Calcium
Carbtot	Carbone total du sol
Cdec	Conductivité électrique du sol
Da	Densité apparente
Ddl	Degrés de liberté
F%	Fréquence
H	Horizon
H%	Humidité pondérale
Ht	Hauteur
JAS	Jour après semis
K	Potassium
L	La culture de lentille
Mg	Magnésium
MOP	Matière organique particulière
MOS	Matière organique du sol
MS	Matière sèche
N	Azote total du sol
Na	Sodium
Ng/E	Nombre de grains par épi
Ne	Nombre d'épi
NL	Non labour
P	Phosphore
P%	Porosité
PMG	Poids de mille grains
Pr	Profondeur
Plt/m²	Nombre de plantes par mètre carré
P/O	Culture de pois fourrager en association avec l'orge
Rdtb	Rendement biologique
Rdtm	Rendement machine
SD	Semis direct
TC	Travail conventionnel
TCS	Travaux culturaux simplifiés
UF	Unité fourragère

Sommaire

Introduction	1
Chapitre I. Revue bibliographique	3
1. le contexte semi-aride; caractéristiques, contraintes et perspectives.....	3
2. Causes et conséquences de dégradation des sols agricoles.....	4
3. Les systèmes de production dans la méditerranée; cas de hautes plaines Sétifiennes.....	6
3.1. L'importance de la jachère dans les systèmes de production en zone semi-aride	7
4. Importance de légumineuses dans les systèmes de culture.....	11
II. Agriculture de conservation.....	12
1. Le développement du travail du sol de conservation.....	12
2. Les apports de l'agriculture de conservation selon la bibliographie.....	13
3. Les défis et les contraintes de l'agriculture de conservation en Méditerranée	15
III. Effets du labour et des techniques de conservation sur les propriétés du sol	16
1. Effets du labour et des techniques de conservation sur les propriétés physiques du sol et la circulation de l'eau.....	16
1.1. Structure du sol.....	16
1.2. La densité apparente du sol.....	18
1.3. LA Porosité et circulation de l'eau.....	18
1.4 La conservation de l'eau.....	20
2. Effets du travail du sol conventionnel et des techniques de conservation sur propriétés chimiques.....	20
2.1. Teneurs et stocks en C et N totaux.....	20
2.2. Azote minéral.....	21
2.3. Phosphore.....	22
2.4. Autres éléments minéraux	23
3. Effets du travail du sol conventionnel et des techniques de conservation sur propriétés biologique.....	23
3.1. La matière organique du sol.....	23
3.1.1. Importance de la matière organique du sol.....	23
3.1.2. Influence des pratiques culturales sur la matière organique.....	24
3.2. les vers de terre.....	25
3.3. la structure et la diversité des communautés microbiennes du sol.....	25
3.4. Influence sur les mauvaises herbes.....	26
Chapitre II. Matériel et méthodes	28
I. Site d'étude.....	28
1. Localisation et conditions expérimentales.....	28

3. Description du protocole expérimental.....	29
4. Mise en place et conduite de l'essai.....	30
II. Les mesures effectuées au niveau du sol.....	32
1. Mesure de l'humidité du sol.....	32
2. Mesure de la densité apparente du sol.....	32
3. Vitesse d'infiltration.....	33
3.1. Mesure sur le champ.....	33
4. Prélèvement pour les analyses du sol.....	33
4.1. Les méthodes d'analyse du sol utilisées par Fertial.....	35
5. La description du profil cultural.....	35
III. Les mesures effectuées au niveau du végétal.....	35
1. Le rendement et ses composantes.....	35
2. La cinétique de la matière sèche.....	36
IV. les mauvaises herbes.....	36
1. Date et méthode d'échantillonnage.....	36
2. Détermination des espèces.....	37
3. Calcul des fréquences et contribution des espèces.....	37
V. Les analyses statistiques.....	37
Chapitre III. Résultats et discussion.....	38
I. Les paramètres liés au sol.....	38
1. Les analyses physico-chimiques du sol du sol.....	38
2. Description morphologique des profils culturaux.....	39
3. L'effet des pratiques culturales sur les propriétés chimiques du sol.....	41
4. L'effet des pratiques culturales sur les propriétés physiques du sol.....	48
4.1. Humidité du sol.....	48
4.2. Densité apparente.....	50
4.3. La perméabilité.....	52
II. Etude des paramètres liés au végétal.....	57
1. Etude de l'effet des différents modes de conduite culturale sur les caractères mesurés chez le blé dur.....	57
1.1. le rendement et ses composantes.....	57
1.2. la cinétique de la matière sèche.....	59
1.3. Etude des relations entre paire de caractères chez la culture de blé.....	60
2. Etude de l'effet des différents modes de conduite culturale sur les caractères mesurés chez la culture de lentille.....	62
2.1. Le rendement et ses composantes.....	62
2.2. La Cinétique d'accumulation de la matière sèche.....	63

2.3. Etude des relations entre paire de caractères chez la culture de lentille.....	64
3. Etude de l'effet des différents modes de conduite culturale sur les caractères.....	
mesurés chez l'association.....	65
3.1. Le rendement et ses composantes.....	65
3.2. La cinétique d'accumulation de la matière sèche.....	66
3.3. Etude des relations entre paire de caractères chez la l'association pois-orge.....	67
III. Les mauvaises herbes.....	68
1. Les plantes adventices inventoriées	68
2. Effet des techniques culturales sur la densité de peuplement d'adventices.....	71
3. Effet des pratiques culturales sur la biomasse des adventices.....	74
Synthèse.....	76
Conclusion.....	78
Références bibliographiques.....	79
Annexes	

Introduction

Le défi majeur des pays Nord africains est double: assurer une sécurité alimentaire pour une population à fort taux démographique et amortir la dégradation des ressources naturelles. Ces pays ont besoin, plus que jamais de revoir leurs modes d'utilisation des terres pour assurer une sécurité alimentaire et un développement agricole durable (**CDSR, 2001**). 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. Il faut que la stratégie envisagée prenne en compte des solutions écologiques, alimentaires, économiques et sociales. Pour ce faire, il y a une nouvelle initiative à travers le monde qui accorde une attention particulière à renverser le processus actuel de dégradation des sols et à réaliser cet objectif double et antagoniste, d'améliorer progressivement la production et de préserver l'environnement : c'est l'agriculture de conservation. Celle-ci doit reposer sur la suppression du travail du sol, la protection par une couverture végétale constituée de résidus et de pailles (**Mrabet, 1993 ; 2001a**). La fixation de cette agriculture contribuera à la durabilité des systèmes agricoles en Afrique du Nord (**CDSR, 2001**).

Nombreuses sont les contraintes de production, les plus importantes sont selon les auteurs : les contraintes climatiques telles que l'irrégularité et la mauvaise répartition des pluies d'une année à l'autre et même à l'échelle de l'année, édaphiques telles que la dégradation des sols par l'érosion et l'appauvrissement en matières organiques, et bien sûr d'autres contraintes socio-culturelles (morcellement des terres agricoles...), ajoutées aux problèmes liés à la pratique culturale basée essentiellement sur l'agriculture conventionnelle (**Mrabet, 2001a; Abdellaoui et al., 2010**).

En Algérie le phénomène de dégradation du sol est présent sur les hautes plaines, zone céréalière, à cause de déficit hydrique, des pratiques culturales inadaptées et de la surexploitation des terres qui ne vont pas de paire avec l'évolution pédoclimatique du milieu, la technique de travail du sol classique avec labour a atteint ses limites de développement dans certaines régions, les terres labourées sont sujettes à l'érosion et pour limiter ce phénomène le recours aux techniques culturales simplifiées et au semis direct seraient une alternative viable (**Abellaoui et al, 2010**). L'adoption de cette nouvelle approche implique un changement global aussi bien sur le plan végétal que sur le plan sol.

Nombreux travaux scientifiques attirent l'attention sur les conséquences du système conventionnel et soulignent l'intérêt économique, agronomique et le respect de l'environnement qui caractérisent le semis direct et les techniques culturales simplifiées. Mais très peu des expériences ont lieu sur l'intérêt de cette technique agricole pratiquée sur différentes successions de cultures et son effet sur les propriétés du sol. En Algérie le semis direct est encore au stade embryonnaire alors qu'au Maroc (**Mrabet, 2001b**) et en Tunisie (**Raunet, 2002**) la plus grande part des travaux concerne les aspects phytotechniques (rendement, contrôle des résidus, contrôle des mauvaises herbes).

La présente étude qui porte sur la comparaison des différentes pratiques culturales, se propose de discuter les questions suivantes :

- Les pratiques culturales adoptées ont-ils des effets bénéfiques sur les propriétés physico-chimiques du sol après trois ans d'application ?
- Les changements des pratiques culturales apportés au sol sont ils exprimés par le végétal ?
- Comment se comportent les mauvaises herbes vis-à-vis des différentes pratiques culturales ?

Ce mémoire est rédigé de la façon suivante :

Le premier chapitre présente une revue bibliographique qui comporte les axes :

- Contexte semi-aride ; caractéristiques, contraintes et perspectives.
- L'agriculture de conservation ; opportunités et limites en méditerranée.
- Effet de labour et des pratiques de conservation sur les propriétés du sol.

Le deuxième chapitre présente les différents matériel et méthodes utilisés.

Et en fin le troisième chapitre donne les résultats obtenus et leurs interprétations.

Chapitre 01. Revue bibliographique

I. le contexte semi-aride; caractéristiques, contraintes et perspectives

1. Causes et conséquences de dégradation des sols agricoles

L'agriculture moderne nourrit les hommes, gère de vastes espaces, mais elle peut également contribuer au développement de nuisances. Parmi celles-ci, la production de ruissellement et d'érosion par les parcelles agricoles est un risque souvent important en milieu méditerranéen, et son coût écologique et économique est élevé (**Roose, 1991**) : amincissement et appauvrissement des terres agricoles, ravinements, pollution des rivières, comblement des réseaux de collecte des eaux, salissement et sapement des routes, envasement des retenues et barrages, inondations et coulées de boue. Cette dégradation, qui a eu pour conséquence un déclin de la production, est due à la fragilité du sol mais aussi à des systèmes de production mal adaptés (**Mrabet et al., 1997**).

La mise en culture d'un sol le rend sensible à l'érosion car la probabilité d'avoir un sol nu s'accroît lors des fortes précipitations ; cela dépend de la nature de la plante cultivée et des techniques culturales, sous verger l'érosion est intense comme sur un sol nu (**Roose et al, 1993**), mais plantée en terrasse elle est moindre que s'il est plantée en lignes dans le sens de la plus grande pente (**Nahal, 1984**) ; et pour des cultures peu denses, elle est plus intenses que pour des cultures denses (**Browning 1948, cité par Nahal, 1975**). L'alternance des cultures légumineuses atténue l'érosion du sol de manière spectaculaire (**FAO, 1983 ; Gallien et al. 1995**), ainsi en Algérie, en associant du blé à des fèves, la perte en terre diminue de 1.5 tonnes/ha à 0.3 tonnes/ha (sur sol nu travaillé) (**Arabi et Roose, 1989**). Les semis très battus ou chantier de récolte très roulés (rugosité nulle) accroissent les risques d'érosion, au contraire, du déchaumage avec résidus abondants ou labour (rugosité forte). Le travail du sol expose le sol nu à l'agressivité des pluies, réduit sa cohésion et accroît par la suite fortement le risque d'érosion et les glissements de terrain sur les versants instables (**Brown et al, 1989; Roose, 1994**). L'installation des cultures et le contrôle des mauvaises herbes par des interventions aratoires engendrent des pertes en matière organique sous rotations de culture continues (**Studdent et al., 1997 in Saber et Mrabet, 2002**). Ces pertes peuvent être réduites en introduisant des cultures fourragères dans les rotations ou en maintenant des niveaux importants de résidus des plantes en surface (**Campbell et Zentner, 1993**). Ainsi, la gestion du sol (à travers le labour), de la culture (à travers le choix des cultures en rotation) et des

résidus des plantes affectent le niveau de carbone dans le sol et influencent les dynamiques, l'humification et la minéralisation et leur équilibre (**Huggins *et al.*, 1998**).

Au Maroc, la gestion de ces trois composantes (sol, culture et résidus) est perturbée par les exigences et les nécessités des systèmes d'exploitation agricoles qui prélèvent du sol plus qu'ils ne fournissent. Les rotations deviennent de plus en plus intensives, les travaux du sol sont réalisés à des dates non favorables, dans des conditions d'humidité élevée, et les résidus des plantes sont exportés des terres cultivées et pâturées. La qualité du sol dans ces conditions, souffre d'une déperdition de carbone et d'une destabilisation des agrégats (**Saber et Mrabet, 2002**).

La porosité du sol joue un rôle important dans les échanges hydriques et gazeux, ainsi que dans le développement racinaire. Elle est souvent sujette à des modifications variables lorsque les sols sont compactés. Généralement, la compaction affecte la qualité physique du sol, elle réduit la porosité, ce qui entraîne une mauvaise aération du sol, un mauvais drainage et augmente la résistance à la pénétration des racines, par conséquent réduit la croissance et le rendement de la récolte (**McBride *et al.*, 1989**). **Ouattara *et al.*, (1998)** ont montré que la modification de la porosité des sols limono-sableux de Burkina Faso sous l'effet de la mise en culture constitue l'une des causes fondamentales de la baisse de la fertilité physique de ces sols.

Dans les zones semi-arides, on assiste à une dégradation continue des ressources naturelles due à l'utilisation abusive et inadéquate des techniques agricoles. Ainsi, le labour intensif entraîne une détérioration de la qualité du sol ce qui menace la production agricole à long-terme, dans tout le bassin méditerranéen (**Lopez Bellido, 1992**). Les travaux récents montrent d'une façon irréfutable que la stabilisation et l'amélioration des rendements céréaliers dans les zones semi-arides marocaines ne peuvent se réaliser à long-terme qu'à travers le remplacement du système conventionnel (TC) du travail du sol par le non labour ou semis direct (NL) (**Bouzza, 1990 ; Kacemi, 1992 ; Mrabet, 1997 ; Mrabet, 2000a**).

2. Le contexte pédoclimatique des zones semi-aride

En zone méditerranéenne, plus les précipitations sont faibles, plus elles sont variables (**Le Houerou, 1986 cité par FAO, 1990**). Elles tombent entre novembre et mars, période durant laquelle les sols cultivés sont nus. En Algérie, sur des parcelles peu couvertes, pendant les orages d'automne, le ruissellement journalier maximal a dépassé de 19 à 32 % et jusqu'à 70 à 85 % des averses importantes en hiver sur des sols détrempés (**Arabi et Roose, 1989**). Les conditions climatiques engendrent une teneur en matière organique relativement faible dans les sols méditerranéens qui sont donc très sensibles au processus d'érosion hydrique (**Nahal,**

1975 ; Ryan, 1982 ; FAO, 1983). Les sols méditerranéens sont souvent peu profonds sauf ceux se situant sur des formes géomorphologiques d'accumulation ou des sables (**Ryan, 1982**).

Les hautes plaines sétifiennes sont caractérisées par des hivers rigoureux et des étés chauds et secs. La pluviométrie moyenne annuelle y varie entre 200 mm au sud et 600 mm au nord, avec une variabilité temporelle et spatiale marquée. Les épisodes de sécheresse survenant pendant la saison pluvieuse peuvent être aggravés par l'occurrence précoce du sirocco, vent chaud et desséchant (**Lahmar et Bouzerzour, 2010**). **Kribaa et al, 2001** donnent une moyenne de 400 mm, avec 230 mm en année sèche et 500 mm en année humide. La température moyenne oscille entre 36 C° (août) et 0.5 C° (janvier).

La répartition des sols dans Les hautes plaines sétifiennes, fait apparaître en gros trois domaines. Dans la partie nord, plus réduite en surface et ondulé, dominent des sols peu ou pas carbonatés, noirs, argileux dotés des propriétés vertiques. La zone sud plate, dominée par des sols calcaires avec le plus souvent des horizons calcaires durs plus ou moins démantelés, proche de la surface. L'horizon de surface se confond le plus souvent avec la couche travaillée. Tous ces sols ont en commun une structure de surface fragile et faible taux de matière organique dans la couche travaillée. Une baisse du taux de matière organique a été notée (**Batouche et Labiod, 1991 ; Lahmar et al, 1993**).

La contrainte climatique agit par la faiblesse de la quantité d'eau et par sa mauvaise répartition inter et intra annuelle. Elle agit également par les basses (gel) et hautes températures (sécheresse accentuée par le sirocco) qui peuvent intervenir de manière précoce ou tardive et pénaliser la céréale. La contrainte pédologique agit par une profondeur du sol réduite, par des accumulations calcaires dures, limitant la réserve hydrique et le développement racinaire. Elle agit également par l'état structural de l'horizon de surface qui détermine en grande partie le fonctionnement hydrique du sol. Bien évidemment, les caractéristiques chimiques biochimiques et biologiques du sol peuvent constituer également des contraintes à la céréaliculture (**Kribaa, 2003**).

3. Les systèmes de production dans la méditerranée ; cas de hautes plaines sétifiennes

Le bassin méditerranéen est dominé par l'agriculture pluviale. La culture la plus pratiquée est celle des céréales d'hiver, blé et orge, en rotation avec une jachère qui peut durer de 16 à 18 mois. Lorsque l'humidité le permet, les céréales sont accompagnées de l'olivier, l'amandier et la vigne. En présence d'irrigation la diversification et l'intensification se pratiquent: arbres fruitiers (pommiers, poiriers, pêcheurs, agrumes, oliviers), légumes (fèves, lentilles, pois chiche), fourrages (vesce, luzerne), pomme de terre, cultures industrielles (tournesol, betterave, coton, colza). Les zones les plus arides sont dédiées à l'élevage extensif. Sur les rives sud de la Méditerranée, l'élevage est pratiquement présent dans tous les agro-écosystèmes ; son interaction avec les cultures est forte, notamment dans les zones céréalières où il a été et continue d'être la principale sinon la seule base de l'activité économique de ces régions (**Cantero-Martínez et Gabiña, 2004**).

L'occupation de l'espace rural méditerranéen se caractérise par une dualité croissante entre l'espace de plaine cultivé intensivement par les productions arboricoles ou viticoles et soumis à l'urbanisation, et les espaces marginaux d'arrière pays traditionnellement voués à l'élevage. Il en résulte au Nord une forte diminution des activités d'élevage avec abandon progressif de l'espace rural, défrichement et risques d'incendies (**Gintzburger et al., 1990; Hubert et al., 1993**), et au Sud de la Méditerranée, un repli de l'élevage sur des espaces de moins en moins productifs, élevage qui ne peut se développer pour répondre à la demande qu'en faisant appel à la complémentation généralisée et à une pression croissante sur les espaces pastoraux (**Le Houérou, 1992**).

Les hautes plaines sétifiennes sont habituellement présentées comme un terroir dominé par les céréales pluviales, blé et orge, et l'élevage ovin. Le système de culture est basé sur une rotation céréale/jachère. La jachère occupe actuellement 40 % de la surface agricole utile (**Abbas et Abdelguerfi, 2005**). Dans un travail récent mettant en relation la taille des exploitations, les ressources et les systèmes de culture, **Benniou et Louhichi (2006)** apportent un éclairage nouveau sur les dynamiques qui se mettent en place et qui sont vraisemblablement impulsées par les récents politiques agricoles du pays (**Djenane, 1997**). Toutes les exploitations pratiquent la culture de céréale et un élevage même très réduit. Une nette tendance à la diversification facilitée par l'accès à l'irrigation. Le maraichage et la culture de pomme de terre notamment, est observé quelque soit la taille de l'exploitation. Le système céréale/jachère/fourrage est présent dans les moyennes et grandes exploitations, notamment en dessous de 400 mm. le système céréale/céréale semble spécifique des petites et

moyenne exploitations. Toutes ces jachère semble être des jachère pâturés, le système blé dur jachère travaillées typique de dry-farming se concentrerait plus dans la zone recevant plus de 400 mm et de manière plus marquée dans les exploitations de taille supérieure à 50 ha, mieux structuré et ayant accès au matériel agricole et aux intrants. **(Lahmar et Bouzerzour, 2010).**

3.1. L'importance de la jachère dans les systèmes de production en zone semi-aride

a- La jachère ; pratique obligatoire en zones semi-aride

Dans les régions méditerranéennes, généralement dépourvues de grands potentiels hydriques, la jachère subsiste toujours et occupe annuellement de très grandes superficies. Dans les zones céréalières semi arides, les systèmes de production sont souvent peu structurés et soumis à des aléas climatiques contraignants **(Abbas et al., 2001)**. Les stratégies de production qu'ils développent répondent de ce fait, à des objectifs à la fois de production mais aussi de lutte contre les risques climatiques. La maximisation de la production est pour cela un objectif secondaire après la survie de l'exploitation agricole. Les types de produits recherchés peuvent ainsi varier subitement au cours de l'année des céréales vers l'animal et vis versa. La jachère est alors l'outil qui permet de favoriser soit les céréales, en cas de pluie, par son labour précoce, soit l'élevage, en cas de sécheresse, par son pâturage. Selon **Kribaa (2003)** le système céréale-jachère apparaît comme solution permettant de minimiser les risques et les couts de production. Les tentatives d'intensification de la céréaliculture n'ont toujours pas bénéficié de l'adhésion des producteurs dont la stratégie de minimisation des risques réside dans l'association culture de céréale-élevage ovin. Dans cette stratégie paysanne; le mouton valorise la jachère et assure un équilibre économique à l'exploitation agricole.

En Algérie, un discours presque unique a toujours considéré la pratique de la jachère comme un frein à l'accroissement des productions agricoles, notamment céréalières. La résorption de la jachère et son remplacement par une culture est donc devenue une constante dans tous les programmes de développement agricoles. La logique est toute simple: il faut donner plus de terres à l'agriculture, et comme la jachère occupe annuellement plus de 40% de la SAU, sa culture fera presque doubler la SAU totale. **(Abbas, 2004).**

Durant plus de 30 ans, la part de la jachère dans la SAU n'a pas changé et reste très importante (40% environ) **(Bedrani et al., 2000)**. Par ailleurs, on constate que la part de la jachère par rapport à la SAT (pour tenir compte de l'ensemble des terres y compris les parcours pastoraux) montre une tendance d'augmentation particulièrement dans les zones semi arides. La part de la jachère travaillée dans la SAT diminue alors que celle de la jachère

pâturée augmente. Ceci montre que la tendance pastorale dans les systèmes de production céréalières des zones semi arides se renforce, à cause de la sécheresse qui a sévi durant la dernière décennie. Ce constat ne s'accompagne pas par des évolutions contrastées des céréales et des brebis comparativement à la SAT. Dans le milieu semi-aride marocain, la jachère devient de plus en plus nécessaire pour réussir une production stable du blé (**Bouzza, 1990 ; Mrabet, 2000b**). Ainsi, il faut obligatoirement choisir un système de culture qui intègre la jachère. Cette jachère doit être chimique non travaillée pour bénéficier au maximum de la fonction productrice et conservatrice du sol (**El-Brahli et al., 1997 ; Mrabet, 2001a**).

Dans les zones céréalières semi arides des Hautes plaines sétifiennes, la céréaliculture associée à l'élevage ovin est difficilement substituable par d'autres productions. La pluviométrie est marquée à la fois par son insuffisance et son irrégularité alors que le milieu physique (sol, points d'eau) sont rarement favorables (sols squelettiques, rares ressources d'eau). Ces contraintes font que la productivité céréalière soit faible et irrégulière (**Jouve et al., 1995**). Les exploitations agricoles ont alors des stratégies de diversification de la production. Celle-ci peut comprendre les céréales, la paille, les animaux reproducteurs, la viande, le pâturage de jachères et de chaumes.... (**Jouve et al., 1995 ; Abbas et al., 2001**). La combinaison de céréaliculture, de la jachère et du mouton permet de gérer au mieux le risque climatique en favorisant un ensemble de produits aux dépens d'un autre. La suppression de la jachère pâturée ou sa substitution par une culture n'a pas donné de resultants tangibles quelque soit le programme (blé/médicago par exemple). Ceci montre que la pratique de jachère est fortement enracinée dans les systèmes de production comme composante permettant entre autres la viabilité et la durabilité de ces derniers (**Abbas, 2004**).

b- Diverses fonctions de la jachère

La fonction principale de la jachère pâturée était l'alimentation d'un troupeau qui pâture les chaumes ainsi que les adventices et les céréales. Elle a aussi pour objectif l'entretien du stock de semences d'adventices du sol. Ses effets sur le bilan hydrique sont variés en fonction de la précocité des labours. Si les labours sont tardifs les possibilités de stockage d'eau sont compromises. La jachère pâturée a tendance à réduire les risques de lixiviation de l'azote (**Abbas, 2004**). Le déplacement des animaux entraîne des transferts d'éléments minéraux et de matières organiques entre parcelles à travers le choix des lieux de stabulation ou de parcage (lieux de déjections) et à travers le devenir de celles-ci (**Sebillote et al., 1993**). En dehors des fonctions classiques de la jachère (agronomiques notamment), il faut bien garder dans l'esprit le fait que cette pratique constitue une composante majeure des systèmes de production, notamment mixtes (céréales/ovin). En Algérie l'apport en UF des jachères est

estimé en 1999 à 1444 millions, soit 9,28 % de l'offre fourragère totale (**Houmani, 1999**). Ceci montre son importance comme ressource fourragère et alimentaire malgré le fait que la productivité à l'hectare est estimée à 360 UF, soit un niveau très bas.

Les effets de la jachère sur le bilan hydrique dépendent, en règle générale, de la date des labours : leur précocité favorise un meilleur stockage de l'eau dans le sol ; avec des labours tardifs, comme c'est le cas pour une jachère pâturée, la possibilité de réaliser des réserves hydriques paraît alors compromise. Cette règle paraît toutefois contestée dans le cadre des zones céréalières semi-arides. Ainsi, depuis fort longtemps, les travaux réalisés en 1962 dans la région de Sétif (Hautes plaines de l'est algérien) par **Perrier (1973)** ont montré que l'effet global de la jachère travaillée (labours précoces) a été un gain de 60 mm d'eau en fin de saison (35 à 40% de la réserve utilisable), mais à une profondeur supérieure à 60 cm. L'intérêt de la jachère considérée (végétation spontanée jusqu'au labour de printemps) n'est donc pas évident ; l'utilisation d'une culture d'automne qui n'accroît pas le déficit hydrique pourrait être plus favorable. Les jachères ont également un rôle d'assainissement des sols cultivés après une période de culture. Les adventices sont éliminées dès les premières années de jachère (**Fournier et al., 2000**). Ces jachères ont également un rôle de production de diverses ressources pastorales, médicinales ou autres produits de cueillette. Elles interviennent également dans la gestion foncière des terroirs agricoles et peuvent avoir un rôle socio-culturel (**Floret et Pontanier, 2000**).

c- Limites et inconvénients de la jachère

En effet, sous jachère travaillée, le labour de printemps provoque un dessèchement brutal du sol sur une profondeur de 60 cm. Par ailleurs, les travaux des Opérations Intégrées de Recherche et Développement (**ITGC, 1980**) menés dans le cadre de la coopération algéro-française dans différentes régions céréalières d'Algérie, ont montré que le rôle de conservation de l'eau attribué à la jachère travaillée n'existe véritablement que pour les zones à pluviométrie suffisante et disposant de sols profonds à moyennement profonds. Il n'y a réellement stockage de l'eau que si : (i) les états structuraux profonds et superficiels dont dépendent l'infiltration et l'évaporation de l'eau sont corrects, et (ii) les dates de création de ces états structuraux coïncident avec les dates de pluies utiles qui réhumectent le profil. En termes plus clairs, la jachère travaillée ne permet un stockage d'eau (à plus de 60 cm) que si les labours de printemps sont réalisés suffisamment tôt (janvier-février) avant le début de la sécheresse et si, et seulement si, le sol est lourd (argileux) et assez profond ; en outre, le recroisement est indispensable si les pluies sont tardives pour réduire l'effet des adventices et créer un mulch. Or, ces conditions ne sont pas souvent réunies dans les zones céréalières

algériennes caractérisées par une pluviométrie faible et irrégulière et surtout par des sols peu profonds. Actuellement, dans les cas où la pratique de la jachère travaillée est réalisée dans un but d'intensification céréalière, compte tenu des moyens matériels réduits au niveau des exploitations des régions semi-arides et des besoins fourragers (pâturage de la jachère) induits par la présence d'un troupeau, le travail du sol est réalisé très tardivement (mars-avril voire mai) et le recroisement est pratiquement inexistant, ce qui réduit toute possibilité d'économie de l'eau. Enfin, par son faible niveau de restitutions au sol et une forte minéralisation de la matière organique (humidité, température et aération favorables), la jachère travaillée accélère l'érosion des sols tout en entraînant l'exclusion de l'élevage ; elle ne se justifierait donc agronomiquement que dans certaines conditions exceptionnelles (production de semences par exemple) (Abbas, 2004).

d- Programme de résorption de la jachere en Algerie

Comme la jachere occupe annuellement une part importante de la SAU, sa culture fera presque doubler la SAU totale. D'où l'interet du programme de la résorption de la jachere qui est devenue une constante dans les programmes de developpements agricoles, visant le remplacement de la jachere par d'autres cultures telles que les cultures fourragères, les légumineuses alimentaires, les oléa-protéagineux. Ces cultures de substitution se trouvent actuellement en difficulté, avec de très faible rendements et en face d'autres contraintes spécifiques à chaque spéculation.

Dans les zones favorables, la suppression ou la réduction de la jachere, notamment la jachere paturée, peut influencer considérablement l'accroissement substantiel du cheptel, à travers la diversification et le developpement des ressources fourragères de qualité d'une part et l'intensification des céréales par l'introduction des espèces de légumineuses fourragères comme précédent cultural d'autres part. Aussi, la résorption de la jachere dans les zones favorables au developpement des légumineuses alimentaires (pois chiche et lentille) peut contribuer à la satisfaction des besoins nationaux en proteines végétales et améliorer de manière substantielle la fertilité des sols (ITGC, 2009).

En fonction des caractéristiques pédoclimatiques on distingue deux types de résorption :

- 1- Suppression de la jachère : ce premier type se limite à la zone A, considérée hautement potentielle, caractérisée par une pluviométrie supérieure à 600 mm, des

sols lourds, argileux et compacte, cette zone à vocation production animale doit être réservée principalement au bovin laitier où la production des espèces de fourrages nobles en remplacement de la jachère constituera la principale source d'alimentation du cheptel en fourrage de qualité.

- 2- La réduction de la jachère est envisagée au niveau deux zones à savoir :
 La zone B située entre les isohyètes 450 et 600 mm, caractérisées par des sols argilo-calcaires, moyennement profonds. Cette zone, à vocation production animale doit être réservée principalement à l'élevage bovin. Les cultures de remplacement potentielles sont principalement les fourrages en vert : bersim, luzerne, orge et triticales en vert, les associations fourragères vesce-avoine et pois-triticales et le pois chiche pour les légumineuses alimentaires, et la féverole et pois protéagineux pour les espèces protéagineuses.

La zone C : située entre les isohyètes 350-450 mm. Cette zone est à dominance élevage ovin. Etant donné que les potentialités de cette zone sont réduites comparées aux zones A et B, les cultures de remplacement sont les fourrages comme la vesce-avoine, l'orge en vert, le triticales, le pois triticales et les légumes secs telle la lentille (ITGC, 2009).

4. Importance de légumineuses dans les systèmes de culture

Dans les systèmes de culture utilisant les rotations, l'azote fixé par les légumineuses peut être utilisé d'abord par les légumineuses, puis par les cultures suivantes. Utilisées en rotation ou en association dans les systèmes de culture, les légumineuses apportent une certaine contribution en azote en fixant et en intégrant une partie de l'azote atmosphérique dans le système. Les résidus des légumineuses sont plus riches en azote et contribuent à enrichir le sol en cet élément (LaRue et Patterson, 1981). Les cultures succédant aux légumineuses peuvent bénéficier indirectement de l'azote fixé par l'entremise des résidus laissés par la légumineuse (Chalk, 1998). Selon Danso (1995), l'azote de la fixation symbiotique a une contribution plus importante pour la croissance des plantes comparativement aux engrais azotés appliqués dans l'agriculture des pays en développement. L'azote fixé de l'atmosphère contribue pour 50 à 60 % du N des légumineuses à graines, 55 à 60 % du N des arbres fixateurs d'azote, 70 à 80 % du N des légumineuses fourragères.

Plusieurs travaux ont en effet montré que les associations céréale-légumineuse sont largement plus compétitive vis-à-vis des adventices que la légumineuse cultivée seule (Bulson *et al.*, 1997 ; Hauggaard-Nielsen *et al.*, 2001 ; Liebman et Dick, 1993). La

présence d'une céréale dans un couvert de pois permettrait de mieux utiliser l'azote minéral du sol en comparaison du pois pur et de réduire ainsi cette ressource pour les adventices limitant la croissance de celles-ci (**Hauggaard-Nielsen et al., 2001**). La plus forte compétitivité de la céréale pour l'azote du sol permettrait d'autre part de réduire les risques de pertes d'azote minéral par lessivage par rapport au pois pur (**Hauggaard-Nielsen et al., 2003**). D'autres effets bénéfiques des légumineuses semblent intervenir dans l'accroissement des rendements et certains auteurs comme **Chalk (1998)** préfère le terme "effet rotation" pour désigner cet effet positif des légumineuses sur la culture suivante.

II. Agriculture de conservation opportunités et limites en méditerranée

Le terme « Agriculture de Conservation » (des sols) est le terme générique à employer. Sa définition a été retenue lors du *"First World Congress on Conservation Agriculture : a worldwide challenge"* qui se déroulait à Madrid du 1-5 octobre 2001, Cette définition est la suivante :

- Absence de retournement profond du sol et implantation des cultures en semis direct
- Maintien d'un couvert végétal permanent (mort ou vivant)
- Adoption judicieuse de cultures dans une rotation suffisamment longue

Le semis direct est un facteur essentiel de l'agriculture de conservation. Cependant, la présence d'un couvert végétal permanent et les cultures présentes dans la rotation doivent être absolument compatibles de cette technique d'implantation (**Benites et Ashburner, 2001**). En d'autre terme, l'agriculture de conservation a pour objectif de conserver, d'améliorer et de mieux utiliser les ressources naturelles liées à la gestion des sols, de l'eau, et de l'activité biologique (**Derpsch, 2001**). L'AC n'est pas un but en elle-même mais plutôt un concept : la gestion de la fertilité des sols est l'objectif final (**FAO, 2001**).

1. Le développement du travail du sol de conservation

Si les outils de travail du sol se sont aujourd'hui diversifiés, la charrue à versoirs reste l'outil le plus répandu. Le labour permet de contrôler le développement des adventices, d'enfouir les résidus de cultures et de fragmenter la structure du sol avant l'implantation des cultures. Cette technique a permis d'augmenter la productivité des cultures mais elle reste une technique consommatrice de temps, de main d'oeuvre, de puissance tractrice et d'énergie (**Monnier, 1994**). Les problèmes de fertilité des sols communs aux sols labourés (baisse des teneurs en MO, érosion éolienne et hydrique, tassements) ont conduit au développement des techniques alternatives au labour, regroupées sous le terme de travail du sol de conservation

lorsqu'elles laissent en surface plus de 30 % des résidus de la culture précédente (**Köller, 2003**). Ces techniques couvrent une large gamme d'opérations allant du semis direct au travail du sol réduit sans retournement de la couche de sol avec un outil à dents ou à disques. Le labour quant à lui laisse moins de 15 % des résidus de culture en surface après l'implantation de la culture suivante (**Köller, 2003 ; Labreuche *et al.*, 2007**).

2. Les apports de l'agriculture de conservation selon la bibliographie

Selon la bibliographie, l'AC a des impacts sur l'environnement, sur l'agronomie et sur l'économie.

Au niveau environnemental, l'AC et les TCS permettent de réduire l'érosion par la présence de couvert végétal et absence ou réduction de travail du sol (**Van Doran et Allmaras 1978; Unger *et al.*, 1988**). L'énergie des gouttes de pluies tombant sur un sol nu provoque une destruction des agrégats du sol, une obstruction des pores du sol et une diminution brutale de l'infiltration de l'eau par conséquent ruissellement et érosion du sol, Le mulch intercepte cette énergie et protège la surface du sol contre la destruction des agrégats, améliore l'infiltration de l'eau et réduit les pertes du sol par l'érosion (**Freebairn et Boughton 1985; McGregor *et al.*, 1990; Dormaar et Carefoot 1996**), réduit la pollution des eaux (**Viaux, 1999**), augmente la biodiversité et de l'activité biologique des sols (**Cluzeau *et al.*, 2001 ; Granval *et al.*, 1993**). selon **Soon et Arshad (2005)**; La biomasse microbienne du sol est plus importante sous système de non labour que sous système conventionnel par 7-36% ; le labour fréquent engendre une diminution de la biomasse microbienne totale et active. Une augmentation de la biomasse microbienne du sol se fait rapidement dans quelques années suivant la conversion au système de non labour (**Ananyeva *et al.*, 1999 ; Alvarez et Alvarez, 2000**). Le semis direct permet de restituer la fertilité du sol et de lutter voire contrôler les formes d'érosion. Si la destruction de la matière organique des sols soumis à des modes de gestion conventionnelle, peut être très rapide, sa reconstruction peut progresser aussi rapidement en semis direct (**CDSR, 2001**). Ces techniques pourraient contribuer à la lutte contre le réchauffement climatique par la réduction de la dépense énergétique donc des émissions et capacité de stockage du carbone via les matières organiques dans les sols (**Guedez, 2002**).

Au niveau agronomique, L'AC permet une accumulation des matières organiques en surface du sol (**Roldan *et al.* 2003 ; Alvear *et al.* 2005 ; Diekow *et al.* 2005 ; Madari *et al.* 2005 ; Riley *et al.* 2005**), engendre une concentration dans l'horizon de surface des éléments fertilisants, et de l'activité biologique du sol. L'AC engendre également une homogénéisation de la structure du sol et une augmentation de la stabilité structurale de celui-ci après une

période d'adaptation de quelques années (**Guerif, 1991**). L'AC diminue les pertes de l'eau dans le sol par évaporation et ainsi favorise une température modérée du sol ce qui améliore l'activité biologique et augmente la minéralisation de l'azote surtout dans les couches de surface (**Dao 1993; Hatfield et Pruegar, 1996**). L'infiltration de l'eau sous système de conservation (zéro ou minimum travail du sol avec couverture) a été supérieure à celle sous système conventionnel (**Bissett et O'Leary, 1996**). Les plantes de couverture est un facteur essentiel pour la production agricole à travers ses effets sur les fonctions du sol physiques, chimiques et biologiques et par conséquent la qualité de l'eau et du sol (**Kumar et Goh., 2000**). Les rendements seraient équivalents au labour (**Reinahard et al., 2001**), mais les TCS demandent une gestion et une attention plus importante de la part de l'agriculteur, particulièrement au niveau de la lutte contre les adventices (**Jouy, 2001**). Les plantes de couverture et le mulch ou les résidues des précédents culturaux participent à réduire l'infestation par les mauvaises herbes à travers la compétition en ne permettant pas l'arrivée de la lumière aux grains de mauvaises herbes qui en ont besoin pour la germination. (**Steinsiek et al., 1982 ; Lodhi et Malik 1987 ; Jung et al. 2004**), également les grains de mauvaises herbes vont être contrôlés quand les plantes de couverture sont coupées ou attaquées chimiquement. Les pratiques agricoles qui maintiennent les microorganismes du sol et l'activité microbienne peuvent aussi conduire à la suppression des mauvaises herbes par des agents biologiques. (**Kennedy 1999**).

Mrabet (2001c) ont trouvé que le semis direct séquestre 13.6% de carbone après 11 ans de son adoption dans un sol argileux. **Bessam et Mrabet (2001)** ont trouvé que le taux de matière organique évolue de façon remarquable sous semis direct en fonction du temps, alors que sous travail classique, le sol garde sensiblement les mêmes taux. Cette part de la fertilité gratuite construite en semis direct permet d'augmenter la productivité des cultures avec moins d'engrais minéral et d'accroître le potentiel du sol. En effet, **Mrabet et al., (2001)** ont trouvé que les niveaux de phosphore, azote et potassium s'améliorent en semis direct par rapport au conventionnel.

Au niveau économique, l'agriculture de conservation permet une réduction des temps de travaux lors de l'implantation des cultures (**Rieu, 2001; Young, 2001**). Une réduction des charges de mécanisation est possible (**Tebrügge, 2001**), si l'équipement est adapté à la surface travaillée. La gestion du désherbage par voies mécaniques et chimiques est en général plus coûteuse mais la marge directe est équivalente au labour (**Salitot, 2001**). Les avantages du changement au semis direct font plus que compenser le supplément de coût de la protection des cultures. Ces avantages sont: une augmentation de la surface exploitée, une suppression

des coûts des labours et des façons superficielles, et une économie du temps du carburant, de la main d'oeuvre et des charges d'équipements (**CDSR, 2001**).

3. Les défis et les contraintes de l'agriculture de conservation en Méditerranée

Le climat méditerranéen, par la température et surtout par les précipitations variables et imprévisibles et par la sécheresse endémique, réduit considérablement le choix des cultures et des rotations en absence d'irrigation. En général, les sols méditerranéens cultivés ont une fertilité moyenne ou faible, des niveaux de matière organique bas et bien souvent, ils sont caillouteux. Ils sont souvent carbonatés, avec des encroûtements calcaires, parfois gypseux, offrent un faible volume au développement racinaire et une capacité de rétention d'eau limitée. La salinité et l'alcalinité les affectent naturellement, mais surtout du fait de l'irrigation. Les agro-écosystèmes méditerranéens pluviaux sont essentiellement à base de céréales d'hiver, cultivées en rotation avec une jachère et d'élevage (**Lahmar, 2007**). Ce dernier a été et continue d'être la principale sinon la seule base de l'activité économique dans l'est et le sud de la Méditerranée (**Cantero-Martínez et Gabiña, 2004**). Les principales contraintes sont la rareté de l'eau et des terres cultivables et la dégradation des terres par érosion du sol associée : au manque de couverture du sol, au brûlis de chaumes, au travail du sol, à l'intensité des pluies et au surpâturage du bétail. (**Lahmar, 2007**). Dans le Sud et l'Est de la Méditerranée, il s'agira de développer des alternatives aux pratiques courantes du dry-farming, le labour profond et le travail de la jachère, qui mènent à de nombreuses dégradations, incluant le déclin du carbone organique et de la fertilité du sol, les pertes de sol par l'érosion hydrique et éolienne et qui remettent en cause la durabilité des systèmes d'exploitation agricole. Cependant, le maintien d'une couverture du sol pour réduire l'érosion et les pertes d'eau et pour améliorer la fertilité du sol ne peut pas se réaliser sans une meilleure intégration entre les cultures et l'élevage (**Lahmar, 2007**).

Le zero labour est une technique qui requiert l'acquisition de nouveaux équipements et l'achat d'intrants (**Marabet, 2001b**), or, les moyens financiers manquent au niveau des exploitations agricoles maghrébines. A titre d'exemple en Algérie pour les exploitations céréalières modernes, 14% seulement utilisent des semences sélectionnées, 23% utilisent du fumier, 24% utilisent des engrais azotés et phosphatés et 15 % des herbicides. Ces techniques culturales réclament de nouveaux outils et exigent de nouveaux investissements matériels souvent plus coûteux et plus développés que le matériel conventionnels, or même pour utiliser ces derniers, l'agriculture au maghreb connaît une insuffisance structurelle et une défaillance du matériel utilisé (**Chabane, 2010**). Le semis direct est un système qui nécessite la suppression du travail du sol et nécessite également une utilisation renforcée des herbicides

(Mrabet, 2001d), donc un cout plus élevé, et surtout, une bonne connaissance des produits et leur utilisation, or, le niveau de consommation est déjà très faible à cause de cherté des intrants.

Un autre défi est le développement de systèmes d'innovation effectifs. Les acteurs auront besoin d'apprendre comment guider leurs efforts respectifs à la lumière de ce qui est appris des agriculteurs pendant la recherche participative. La génération et la dissémination de l'information et la formation des agriculteurs et des techniciens sont d'importance primordiale. La compensation des agriculteurs pour les avantages sociaux et environnementaux qu'ils procurent à long terme doit être envisagée. Des subventions et des programmes de crédit pour l'achat d'outils adaptés peuvent jouer un rôle moteur dans d'adoption de l'agriculture de conservation notamment par les petites agricultures familiales. Les politiques agricoles devraient être reformulées de manière à appuyer explicitement la recherche sur l'agriculture de conservation et son développement. (Lahmar, 2007).

III. Effets du labour et des techniques de conservation sur les propriétés du sol

1. Effets du labour et des techniques de conservation sur les propriétés physiques du sol

1.1. Structure du sol

La structure d'un sol évolue continuellement, alternant les phases de formation, de stabilisation et de dégradation. La formation de la structure du sol résulte principalement de perturbations physiques d'origine anthropique ou climatique (Oades, 1993 ; El Titi, 2003). Les pores créés par ces perturbations sont généralement allongés ; ce sont les fissures. L'activité biologique des organismes du sol participe aussi à la formation de la structure mais joue surtout un rôle majeur dans sa stabilisation. La dégradation de la structure résulte quant à elle de l'action de l'homme ou du climat (Young *et al.*, 1998). Le travail du sol affecte les facteurs biotiques et abiotiques du sol, soit directement en modifiant les propriétés structurales du sol comme l'arrangement des vides, les agrégats, la connectivité des pores, soit indirectement en changeant les conditions d'aération, de température et de pénétrabilité du sol par les racines (Huwe, 2003). La structure du sol est le résultat, à un moment donné, de l'équilibre entre les phénomènes de tassement (par le passage d'engins agricoles, conditions humides d'intervention), de fragmentation (par le climat, la faune et/ou le travail du sol), d'agrégation (par des compactions modérées ou par le climat et/ou la faune) et de déplacement du sol par le travail du sol (Roger-Estrade *et al.*, 2000). Il en résulte que la structure du sol est très variable au sein des couches de sol cultivées non seulement dans le

temps (sous l'action des systèmes de cultures, du climat) mais aussi dans l'espace. Le sol présente donc une forte variabilité spatiale des conditions locales de circulation d'eau, d'activité biologique et d'aération **(Boizard et al., 2004)**.

Dans les systèmes labourés, la structure du sol est principalement créée par les opérations de travail du sol tandis que dans les systèmes non travaillés (semis direct) la structure est principalement créée par l'action du climat (en surface dans les régions tempérées) et par des processus biologiques **(Oorts, 2006)**. Il en résulte que la structure d'un sol labouré est extrêmement hétérogène. Elle est composée de l'assemblage de sol fin, de mottes compactées ou non (décimétriques), de résidus de cultures répartis le long de la bande de labour, de vides et de fissures issus de l'action de retournement, de déplacement et de fragmentation de la charrue sur la couche de sol labourée **(Roger-Estrade et al., 2004)**. A l'inverse, la structure d'un sol non travaillé est plus homogène et présente souvent une structure plus massive composée de macro-pores d'origine biologique. Les fissures et les vides sont en général moins importants dans les sols non travaillés ou dans les systèmes de travail du sol réduit du type chisel **(Rasmussen, 1999)**. Par ailleurs, les résidus de cultures ne sont pas enfouis en profondeur et sont concentrés en surface ou dans les premiers centimètres de sol, améliorant la stabilité structurale du sol **(Tebrügge et Düring, 1999)**. L'effet des différentes techniques de travail du sol sur la structure diffère selon le type de sol. Les sols sensibles aux tassements, comme les sols sableux, se prêtent moins à l'abandon du labour car leur faible activité structurale limite la régénération de la structure du sol par les phénomènes naturels de retrait-gonflement **(Munkholm et al., 2003)**.

La stabilité des agrégats est corrélée à la quantité de carbone organique présent dans le sol **(Stengel et al., 1984)**. Comme cette quantité augmente sensiblement en semis direct, les agrégats sont plus stables dans cette situation culturale **(Angers et al., 1993 ; Suwardji et Eberbach, 1998 ; Hernánz et al., 2002 ; Saber et Mrabet, 2002 ; Sasal et al., 2006)**.

1.2. La densité apparente du sol

Réduire l'intensité et la profondeur du travail du sol conduit en général à une augmentation de la densité apparente du sol mais pas au-delà de l'ancien fond de labour **(Guérif, 1994; Rasmussen, 1999; Tebrügge et Düring, 1999)**. L'absence de fragmentation des anciennes couches de sol travaillées entraîne une diminution de leur espace poral **(Guérif, 1994)**. L'augmentation de la densité apparente du sol est toutefois moins importante dans les

systèmes de travail du sol réduit que dans les systèmes type semis direct (**Kay et Vanden Bygaart, 2002**), voire inférieure sur 0-10 cm (**D'Haene et al., 2008b**). De nombreuses études réalisées dans des conditions pédoclimatiques variées concluent à une augmentation de la densité apparente en semis direct, dans les cinq à dix premiers centimètres de sol (**Ehlers et al., 1983 ; Hammel, 1989 ; Hill, 1990 ; Grant et Lafond, 1993 ; Rhoton et al., 1993 ; Unger et Jones, 1998 ; Lampurlanés et Cantero- Martínez, 2003 ; Basic et al., 2004**). Les socs du chisel, en fragmentant le sol, réduisent la prise en masse du sol sur la profondeur de travail de l'outil et à long terme (> 11 ans), il semblerait que la densité apparente du sol soit identique à celle d'un sol labouré (**D'Haene et al., 2008b**). Par contre, la densité apparente de la couche de sol de surface (0-5 cm) est favorisée dans les systèmes de non travail du sol ou de travail du sol réduit par rapport à un labour en raison de la présence d'un mulch en surface (**Blanco-Canqui et al., 2007 ; Guérif, 1994 ; Tebrügge et Düring, 1999**). **Tebrügge et Düring (1999)** montrent que l'écart de densité apparente entre un sol labouré et un sol non travaillé est maximal après le passage de la charrue ; l'écart décroît au cours de la saison de culture.

Le non retournement des couches de sols par la charrue ou les techniques de travail superficiel, surtout les techniques de semis direct, favorisent l'activité fouisseuse de la faune du sol, et la présence de biopores contribue donc à diminuer les effets de ces techniques sur la densité apparente du sol sur le long terme (au delà de 10 années d'adoption de ces techniques) (**Huwe, 2003 ; Munkholm et al., 2003**). Généralement, une conséquence de la compaction du sol en semis direct est la pénétration plus difficile des racines dans le sol (**Ehlers et al., 1983 ; Hammel, 1989 ; Hill, 1990 ; Grant et Lafond, 1993 ; Ferreras et al., 2000**).

1.3. La Porosité et la circulation de l'eau

Dans les premiers centimètres de sol, la distribution de la taille des pores est modifiée en l'absence de travail du sol. La mésoporosité et/ou la macroporosité diminuent dans un sol en semis direct par rapport à un sol labouré (**Hill, 1990 ; Pierce et al., 1994 ; Hussain et al., 1998 ; Ferreras et al., 2000**) ; l'écart entre les deux situations culturales est particulièrement marquée après le travail du sol (**Pierce et al., 1994**). De manière analogue, **Guérif (1994)** montre qu'en semis direct, les pores structuraux sont moins nombreux, situés en surface et plus continus. Une meilleure continuité des pores en semis direct est aussi observée par **Heard et al., (1988)** et **Azooz et Arshad (1996)**. Selon **Kay et Vanden Bygaart (2002)**, l'effet des techniques de travail du sol sur la micro ($< 0,2$ mm) et la méso-porosité (0,2-30 mm) du sol (importante pour le stockage de l'eau et siège des activités microbiennes) varie

selon le temps d'application et la profondeur de travail de l'outil considéré. Les résultats de différentes expérimentations sont contradictoires et il est donc difficile de généraliser l'effet de la réduction du travail du sol sur ces classes de pores. Concernant la microporosité, des études rapportent qu'elle est plus élevée en l'absence de travail du sol (**Pierce et al., 1994 ; Azooz et Arshad, 1996 ; Bhattacharyya et al., 2006**). Après l'arrêt du labour, la proportion de pores créés par l'activité biologique (les biopores longs et cylindriques) diminue fortement puis augmente au cours du temps (**Shipitalo et Protz, 1987 ; VandenBygaart et al., 1999**). Le réseau poral qu'ils définissent présente souvent une continuité élevée (**Blevins et al., 1983**) ; ces pores participent activement à la pénétration des racines et aux mouvements de l'eau dans le sol (**Dexter, 1991**).

Du volume et de la morphologie de l'espace poral dépendent les propriétés hydriques du sol (Le stockage et la circulation de l'eau) (**Pachepsky et Rawls, 2003**). En effet, il n'existe pas de consensus concernant les effets du semis direct sur la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol. Comparé à un sol travaillé, la vitesse d'infiltration de l'eau dans un sol en semis direct peut être augmentée (**Miller et al., 1998 ; Arshad et al., 1999**), similaire (**Blanco-Canqui et al., 2004 ; Fuentes et al., 2004**) ou diminuée (**Ferrerias et al., 2000 ; Lampurlanés et Cantero-Martínez, 2006**). En fait, cette variabilité s'explique par les différences d'évolution du réseau poral au cours du temps entre un sol labouré et un sol en semis direct. Des macropores sont créés juste après le labour ce qui améliore temporairement la vitesse d'infiltration de l'eau (**Lin et al., 1999 ; Coquet et al., 2005**) mais l'action mécanique de la charrue peut détruire la continuité des biopores formés pendant le cycle cultural précédent (**Logsdon et al., 1993**). A l'inverse, la réduction du nombre de méso- et macropores du sol après l'abandon du labour est contrebalancée par un accroissement de la quantité des biopores lors de la pratique à long terme de la technique du semis direct (**Rasmussen, 1999**). De plus, l'augmentation de la quantité de matières organiques dans les premiers centimètres d'un sol non travaillé faciliterait l'infiltration de l'eau (**Findeling et al., 2003**). Les sols non travaillés présentent une structure plus compacte et une porosité totale souvent plus faible que celle des sols labourés ou travaillés avec un outil à dent. Par conséquent la proportion de pores saturés en eau (% WFPS : Water Filled Pore Space) est souvent plus grande dans les systèmes non travaillés (**Franzluebbers et al., 1995**). Cette proportion dépend de la porosité totale du sol, de la taille des pores et de la teneur en eau du sol et détermine ainsi l'aération du profil de sol (**Oorts, 2006**).

1.4. La conservation de l'eau

De nombreuses études s'accordent que le sol non travaillé retient plus d'eau (**Dao, 1993 ; Arshad et al., 1999 ; Ferreras et al., 2000 ; Baumhardt & Jones, 2002 ; Bhattacharyya et al., 2006**) du fait de la modification de l'espace poral mais aussi du fait de la présence des résidus en surface qui réduisent l'évaporation (**Munawar et al., 1990 ; Guérif, 1994**). D'après **Al-ouda (2010)** la quantité de l'eau dans les 20 cm de surface du sol a diminuée significativement d'un type de travail de sol à un autre comme suit SD, TCS, TC. Dans une culture de blé dur au niveau de l'horizon (0-20cm), **Abdellaoui et al., (2010)** affirment que le semis direct et les travaux simplifiés permettent une meilleure rétention en eau par rapport au labour conventionnel avec la charrue au soc. Dans une étude comparative de la dynamique de l'eau dans les couches du sol entre la technique du SD et celle de conventionnel effectuée en Tunisie ayant montré que le non labour valorise mieux les apports d'eau en préservant de l'eau présente dans le sol avec un écart de 5% en sa faveur (**Nouiri et al., 2004**). La non manipulation du sol et le maintien d'un couvert végétal aident à prolonger la durée du dessèchement de la surface et gardent le sol plus humide une période du temps plus longue (**Mrabet, 1997**).

2. Effets du travail du sol conventionnel et des techniques de conservation sur propriétés chimiques

2.1. Teneurs et stocks en C et N totaux

Les systèmes de travail du sol de conservation laissent plus de 30 % des résidus de cultures en surface ou les concentrent dans les premiers centimètres du sol. Le labour quant à lui enfouit et répartit ces résidus de cultures sur la profondeur de sol labourée. Ce changement dans la répartition des résidus de cultures au sein du profil de sol va avoir des conséquences à plus ou moins long terme sur les teneurs et stocks des matières organiques du sol et des éléments nutritifs. (**Jean-françois, 2009**)

Les concentrations en C et en N organique dans les systèmes de conservation sont en général supérieures dans les 10 premiers centimètres du sol par rapport à un sol labouré et décroissent fortement dans les horizons sous-jacents (**Al-Kaisi et Yin, 2005 ; D'Haene et al., 2008a; Gál et al., 2007 ; Koch et Stockfisch, 2006; Needelman et al., 1999; Pekrun et al., 2003**). Par conséquent, les stocks de C et N organiques (t.ha-1) dans les systèmes de conservation sont supérieurs en surface par rapport aux systèmes labourés (**Al-Kaisi et Yin,**

2005 ; Franzluebbers *et al.*, 1995 ; Gál *et al.*, 2007) mais peu de différences apparaissent en profondeur (Balesdent *et al.*, 2000).

Les teneurs en carbone (C) organique sont maximales dans les 5 cm supérieurs du sol. Elles diminuent avec la profondeur parce que les résidus végétaux ne sont pas enfouis et se décomposent en surface. Dans le système conventionnel, au contraire, les teneurs en C organique sont homogènes dans les premiers 30 cm et plus abondantes entre 30 et 40 cm que sous semis direct, du fait de l'enfouissement des résidus végétaux au fond du sillon, où ils se décomposent lentement (Zihlmann *et al.*, 2001 ; Müller *et al.*, 2008a). Certains auteurs montrent même que malgré une concentration en C et N plus importante en profondeur en labour (15-30 cm), les stocks de C et N sont supérieurs en semis direct du fait de l'augmentation de la densité apparente de cette couche de sol (Gál *et al.*, 2007). Cette stratification verticale des stocks de C et N engendrée par les techniques de conservation se fait rapidement après leur adoption et les principaux changements apparaissent au cours des trois premières années de leur application (Ahl *et al.*, 1999 ; McCarty *et al.*, 1998). Quand les stocks de C et N organique sont rapportés à l'ensemble de la couche de sol labourée (en général 0-30 cm), certaines études montrent que les techniques de conservation, notamment les techniques de semis direct, ont un potentiel de stockage de la MOS (matière organique du sol) plus important que les techniques conventionnelles (Baker *et al.*, 2007 ; Franzluebbers *et al.*, 1995 ; Gál *et al.*, 2007). A l'inverse, d'autres montrent que les techniques de travail du sol n'ont que peu d'effets sur ces stocks (Balesdent *et al.*, 2000 ; D'Haene *et al.*, 2008a ; McCarty *et al.*, 1998; Needelman *et al.*, 1999).

Le rapport C/N de la MOS dans les systèmes de conservation est en general supérieur à celui des systèmes labourés en surface là où les résidus de culture s'accumulent, et peu de différences apparaissent en deçà (McCarty *et al.*, 1998; Stockfisch *et al.*, 1999).

2.2. Azote minérale

L'azote inorganique du sol constitue la fraction disponible pour les cultures. Le sol en contient rarement plus de 10% d'azote inorganique total (Scheiner, 2005). Dans le sol, l'azote minéral se présente généralement sous la forme de nitrate (NO_3^-), qui est très mobiles et qui peuvent facilement être lixiviée avec les eaux de percolation, notamment pendant la saison pluviale (Spiess, 2005). Les travaux sur l'effet des techniques de travail de sol sur les niveaux de l'azote minéral au cours de l'année donnent des résultats parfois divergents. Langlet et Remy (1976) ont montré que dans la plupart du temps, au cours de cycle cultural, les niveaux d'azote minéral sont semblables dans les sols labourés ou en semis direct, voire quelques fois supérieurs en fin d'hiver dans les sols en semis direct (Monner *et al.*, 1991). La minéralisation

de l'azote se déroule d'une manière plus continue et dure plus longtemps en semis direct qu'avec le labour (**Zihlman et al., 2001**). La dynamique de minéralisation des composés organiques modifiée en semis direct et le pic de minéralisation concomitant au travail du sol n'existe plus ; la composition des microorganismes décomposeurs, dominé par les champignons, favorise l'immobilisation de l'azote au détriment de sa minéralisation (**Carter et Renne, 1987**).

Qu'il s'agisse de sols argileux (**Catt et al., 2000**), de sols sableux (**Hansen et Djurhuus (1997)** ou de sols limoneux (**Zhu et al. 2003, Stoddard et al., 2005, Gupta et al., 2004, Al-Kaisi et Licht 2004**), les effets du mode de travail du sol sur la lixiviation du nitrate ne sont pas significativement différents. En revanche, **Kanwar et al., (1993), Little et al., (2005)** et **Randall et Iragavarapu (1995)**, ont observé des concentrations de nitrate dans l'eau drainée significativement plus élevées sous labour que sous semis direct ou pseudo labour mais des pertes d'azote peu différentes. **Drury et al. (1993)** ont observé des concentrations mais aussi des pertes d'azote plus élevées (bien que non significativement) dans le cas du labour que dans celui du semis direct. Les travaux de **Goss et al., (1993)**, de **McCracken et al. (1995)**, de **Kanwar et al., (1993)**, de **Randall et Iragavarapu (1995)**, ou de **Drury et al., (1993)** à partir de mesures réalisées sur des dispositifs de drainage, de **Zhu et al., (2003)** basés sur un dispositif lysimétriques, et de **Hansen et Djurhuus (1997)** et **Gupta et al., (2004)** basés sur un dispositif de bougies poreuses, ont montré que les pertes d'azote par lessivage différaient seulement de quelques kg par hectare entre modalités de travail du sol. Selon **Ammann et al., (2003)** ont observé une différence de perte d'azote de 30 kg N/ha entre semis direct et labour une année parmi les 3 années de leur étude.

2.3. Phosphore

Les techniques de travail du sol influencent en premier lieu le mode de distribution dans le sol du phosphore apporté par l'engrais, les matières organiques exogènes et les résidus des cultures. Quelles que soient les techniques mises en oeuvre, elles sont sans effet notable sur les teneurs en phosphore, en général très faibles, des couches de sols situées au dessous de la plus grande profondeur de travail. A ce niveau, en raison de la capacité qu'ont les racines à absorber du phosphore dans la solution du sol jusqu'à des concentrations de quelques mg/L (**Barber, 1995**), les teneurs du sol en phosphore demeurent généralement très faibles avec pour corollaire l'existence d'un fort pouvoir fixateur pour cet élément.

Dans l'horizon de surface, les opérations culturales qui réalisent un retournement ou un malaxage du sol tendent à homogénéiser le phosphore dans le volume travaillé. Par contre celles qui n'engendrent pas de mélange des couches travaillées, conduisent à l'instauration

d'un gradient de teneurs décroissantes avec la profondeur (**Sharpley, 2003**), très fortement marqué dans le cas du semis direct. La création de ce gradient s'accompagne d'un enrichissement de la couche de surface qui interagit avec l'eau qui ruisselle. Ce phénomène est d'autant plus fort que les apports de phosphore sont abondants.

2.4. Autres éléments minéraux

Le non retournement du sol en semis direct conduit à un enrichissement en éléments minéraux des premiers centimètres de sol par rapport à une situation avec labour (**Follett et Peterson, 1988 ; Edwards et al., 1992**). D'un autre côté, en semis direct, les quantités d'éléments minéraux peuvent être réduites en profondeur, notamment le phosphore et le potassium (**Pekrun et al., 2003**). L'émission de protoxyde d'azote est favorisée dans un sol non travaillé (**Six et al., 2002 ; Baggs et al., 2003 ; Liu et al., 2006**). D'autre part, si des études rapportent que le lessivage des nitrates peut être réduit lorsque le sol n'est plus travaillé (**Power et Peterson, 1998 ; Halvorson et al., 2001**), d'autres études concluent qu'il peut être accentué (**Sharpley et Smith, 1994 ; Catt et al., 2000**) ou non modifié (**McConkey et al., 2002**).

3. Effets du travail du sol conventionnel et des techniques de conservation sur propriétés biologique

3.1. La matière organique du sol

3.1.1. Importance de la matière organique du sol

La présence de matière organique dans les sols est à l'origine de l'apparition des propriétés physico-chimiques favorisant le développement des végétaux cultivés et naturel. L'augmentation de ces teneurs s'accompagne d'une amélioration de la structure, de la facilité de l'infiltration de l'eau, de l'accroissement de la capacité de la rétention en eau, ainsi que du pouvoir de résistance à l'érosion (**Leprun, 1988**). En outre, avec ses propriétés colloïdales, son caractère de substance fixatrice d'élément et son pouvoir chélation, elle joue un rôle chimique important dans les sols; libération d'élément nutritifs après minéralisation et augmentation de la capacité d'échange cationique. Elle joue aussi un rôle environnemental capital en participant à contrer le phénomène de désertification et en diminuant, lorsque ses teneur augmente dans les sols, le dégagement de gaz carbonique pouvant rejoindre l'atmosphère et accroître les quantités des gaz responsable de l'effet de serre (**FAO, 2008**). Au niveau agricole sa présence contribue à une bonne nutrition des espèces cultivées, ce qui se traduit par l'augmentation des rendements et l'amélioration de la production.

La MO est la source principale d'azote dans le sol. C'est un composant labile nécessitant une source de renouvellement. Toutefois, la perturbation du sol par le labour provoque généralement une diminution du taux de la MO, favorise l'érosion éolienne et hydrique et de ce fait provoque un déclin de la productivité de la plante cultivée. Le maintien des résidus de récolte en surface du sol peut contribuer à la synthèse d'une nouvelle MO (**Campbell et Zentner, 1993**). La MO constitue souvent le ciment organique liant les fines particules entre elles et formant ainsi les agrégats (**Quirk, 1978 ; Tisdall et Oades, 1982 ; Elliott, 1986**). Elle ralentit la pénétration de l'eau de pluie dans les agrégats et permet l'augmentation du taux des agrégats hydrostables (**Greenland, 1981 ; Tisdall et Oades, 1982 ; Albrecht, 1998**). La stabilité structurale est étroitement liée à la quantité et la qualité de la MO (**Angers et Chenu, 1997 ; Feller et Beare, 1998**). La MO influence l'emménagement de l'eau par le sol, la résistance aux agents érosifs et par conséquent affecte la croissance et le développement des cultures (**Piccolo, 1996**). La qualité de la MO est susceptible à changer avec les différents systèmes de gestion des sols (**Gregorich et Carter, 1997 ; Oades, 1998 ; Piccolo et Mbaywu, 1999 ; Balesdent *et al.*, 1999**). Ainsi, il devient nécessaire de maintenir et même d'augmenter le contenu des sols en MO pour améliorer leur fertilité et assurer une agriculture durable en augmentant le taux de séquestration des résidus de récolte (**Unger, 1994**).

3.1.2. Influence des pratiques culturales sur la matière organique

La MOS est composée d'un mélange de divers composés allant des résidus de culture frais à des composés humiques relativement inertes dont le turn-over se mesure en millénaire et sa mesure ne fournit pas toujours une indication précoce d'un changement dans le statut organique du sol. Les pools labiles de la MOS (matières organiques particulaires, C soluble...) ont quant à eux un turn-over plus rapide et sont plus sensibles que la teneur totale en MOS aux changements de pratiques culturales ou de conditions environnementales. Ainsi, ces pools peuvent être utilisés comme des indicateurs précoces des modifications de la MOS totale qui se manifestent à plus long terme. Les matières organiques particulaires (MOP) représentent un pool transitoire entre les résidus de culture frais et les MOS humifiées. Enrichi en C et en nutriments, elles représentent un attribut important de la qualité du sol puisque leur turn-over court en fait une source de C et d'énergie pour les microorganismes du sol hétérotrophes (**Haynes, 2005**).

Le travail du sol en modifiant la répartition et parfois la quantité de résidus de cultures retournés au sol, affecte également la qualité des MOP. Ainsi, les systèmes de conservation ont une plus grande part de MOP (**Franzluebbers et Arshad, 1997**) que les sols labourés en

raison notamment de la protection physique des MOS qui protège la MOS de l'activité microbienne dans les systèmes de conservation (**Balesdent *et al.*, 2000 ; Six *et al.*, 2000**). Dans les zones semi-arides où la décomposition de la MO est influencée par les conditions de sécheresse (**Campbell *et al.*, 1996**), l'adoption du non labour réduit l'évaporation et par conséquent les pertes en eau, améliore les rendements et favorise l'accumulation de la MO par l'incorporation des résidus de récolte (**Campbell et Janzen, 1995**).

3.2. Les vers de terre

Le labour affecte négativement les populations de vers qui sont atteintes directement via des dommages mécaniques, une exposition aux prédateurs et un phénomène de dessiccation dû au retournement du sol (**Edwards et Bohlen, 1996 ; Chan, 2001**). Le labour affecte la densité, la biomasse mais également la composition et la diversité des communautés de lombriciens (**Chan, 2001 ; Kladvko, 2001**). Les endogés sont les moins touchés par cette pratique et peuvent même être favorisés par l'enfouissement des matières organiques dans le sol (**Wyss et Glasstetter, 1992 ; Nuutinen, 1992**).

Le travail du sol superficiel est nettement moins néfaste que le labour car il est moins profond et ne retourne pas le sol mais il peut tout de même porter préjudice aux populations de vers de terre, notamment à travers la destruction des habitats. Le semis direct, quant à lui, favorise le développement des lombriciens, et en particulier le retour des anéciques. **Tebrüge et Düring (1999)** ont montré qu'après plus de 5 ans, la biomasse lombricienne était de 180 kg/ha pour le labour, 500 kg ha⁻¹ pour le travail superficiel et 1500 kg ha⁻¹ pour le semis direct.

3.3. La structure et la diversité des communautés microbiennes du sol

Les modifications abiotiques et biotiques de l'environnement des microorganismes affectent également la structure des communautés microbiennes du sol (**Andrade *et al.*, 2003**). Dans les systèmes les moins perturbés mécaniquement, l'augmentation de la biomasse microbienne en surface serait majoritairement due à l'expansion de la biomasse fongique, favorisée par l'humidité du sol (maintenue grâce à la présence d'un mulch) et non affectée par les perturbations mécaniques qui réduisent la longueur des hyphes mycéliens et le nombre de propagules dans les premiers horizons de sol (**Frey *et al.*, 1999 ; Kennedy, 1999 ; Spedding *et al.*, 2004**). Le type d'outil utilisé pour le travail du sol a également une influence sur les populations microbiennes : il semblerait que les outils animés (herse rotative) aient un effet encore plus délétère pour les populations fongiques qu'un labour (**Cookson *et al.*, 2008**). Les sols travaillés intensivement seraient donc dominés par des espèces bactériennes tandis que

les sols où le travail du sol est limité favoriseraient le développement de populations fongiques (**Kladivko, 2001 ; Young et Ritz, 2000**).

3.4. Influence sur les mauvaises herbes

En algérie, les mauvaises herbes se sont progressivement multipliées pour couvrir des superficies de plus en plus importantes (surtout en céréaculture). Les mauvaises herbes les plus couramment recensées sont : le brome, le phalaris, le ray gras, le vulpin et la folle avoine pour les poacées et la moutardes, la ravenelle, le gaillet et le coquelicot pour les dicotylédones (**Hamadache et al., 2002**). Le travail conventionnel du sol consiste à déserber, ameublir et à préparer le lit de semence afin d'assurer une densité de peuplement satisfaisante et un bon rendement (**Dessaint et al., 1990**). Avec le progrès des techniques agricoles on a assisté, ces derniers temps, à une évolution des méthodes du travail du sol qui vise à supprimer entièrement le labour ou à en diminuer son intensité. Selon **Cowbrough (2002)**, la simplification du travail du sol ne peut être une solution durable que si le désherbage chimique est mieux maîtrisé.

La flore adventice des cultures est fortement affectée par les systèmes de production agricole (**McLaughlin et Mineau, 1995 ; Guillaume et al., 2008**). En effet, toute modification des pratiques culturales se répercute sur la structure de cette flore, il a été démontré que le labour favorise les adventices annuelles alors que le semis direct favorise le développement des graminées et des vivaces (**Derksen et al., 1993 ; Vulioud et al., 2006**). Ainsi la transition du semis conventionnel au semis direct peut engendrer une inversion de la flore adventices et l'apparition de nouveaux problèmes de désherbage (**Ball et Miller, 1990 ; Tuesca et al., 2001**).

Le système non labour ne peut être durable que par la maîtrise de la propagation des mauvaises herbes (**El Brahli et al., 1997**). Les graines de mauvaises herbes enfouies ne sont pas exposées à la surface comme c'est le cas par les travaux du sol. La banque de graines de mauvaises herbes semble donc diminuer en semis direct, rare sont les apparitions soudaines et tardives des mauvaises herbes car aucun travail du sol ne ramène les graines à la surface (**CDSR, 2001**). Un contrôle des adventices sévère est néanmoins important au cours des premières années de transition. Au cours de cette période, le taux d'infestation floristique et la levée des graminées annuelles ont tendance à augmenter surtout avec les cultures continues. Pour cela, il faut essayer d'envisager une démarche efficace pour la lutte contre les mauvaises herbes par la prévention, la compétitivité des cultures, la rotation des cultures et un désherbage chimique. Il est conseillé d'appliquer des herbicides résiduels à action foliaire et racinaire qui sont relativement peu coûteux, tels que les herbicides anti-dicotylédones qui

permettent un contrôle adéquat des mauvaises herbes. En effet, ces herbicides sont caractérisés par leur rémanence dans le sol et leur large spectre d'action **(El-Brahli et Mrabet, 2000)**. En semis direct, la suppression du travail du sol nécessite une utilisation renforcée des herbicides, donc un coût plus élevé, et surtout, une bonne connaissance des produits et de leur utilisation. Cette maîtrise de la lutte chimique n'est pas acquise par tous les agriculteurs, et les parcelles en semis direct peuvent être fréquemment envahies par les adventices**(CDSR,2001)**.

Chapitre 02. Matériel et méthodes

I. Le site d'étude

1. Localisation et conditions expérimentales

La parcelle d'étude est située à la station expérimentale de l'ITGC de Sétif, au lieu dit R'MADA dans la commune de MEZLOUG, daïra de AIN ARNAT. La station expérimentale de l'ITGC (Sétif) appartient au climat méditerranéen semi-aride caractérisé par un été sec et chaud, un hiver froid et humide et un printemps relativement sec à fréquentes gelées tardives avec une saison sèche qui peut s'étaler sur 4 à 5 mois de mars à septembre, avec risque précoce de sirocco (**Baldy, 1974**).

2. Climat de la campagne d'étude

Le cumul des précipitations enregistrées durant la campagne d'étude (2010/2011) s'élève à 418,7 mm, qui est égale au cumul de précipitations enregistrées durant la campagne 2009/2010 (418,7 mm) et plus élevée à celui de 2008/2009 (377,34 mm). Le mois de février était le plus pluvieux (121 mm) durant la campagne d'étude alors que le mois de septembre était le plus sec avec seulement 3,4 mm. La température moyenne mensuelle la plus basse, a été enregistrée au cours du mois de février, avec 5,42°C. La température la plus élevée a été enregistrée au mois de septembre avec 21,02°C (**Figure 1**). Le mois de semis de la campagne d'étude (novembre) se caractérise par 47,8 mm de précipitations et une température de 15,94°C ce qui assurait l'installation de la culture.

Au cours des trois campagnes agricoles (l'essai a 3 ans d'expérimentation), la température présente une répartition bimodale, élevée au cours de l'été et basse au cours de l'hiver. La pluviométrie montre une variabilité prononcée d'un mois à l'autre et d'une campagne à l'autre. Ainsi l'hiver de 2009/2010 est relativement sec avec une moyenne de 38,76 mm, celui de 2008/2009 est relativement moyen avec 49,26 mm de précipitations alors que celui de 2010/2011 est relativement pluvieux avec 51,43 mm de précipitation moyenne. Au contraire, le printemps de 2009/2010 apparaît le plus pluvieux que celui de 2010/2011 et celui de 2008/2009 (**Figure 1**).

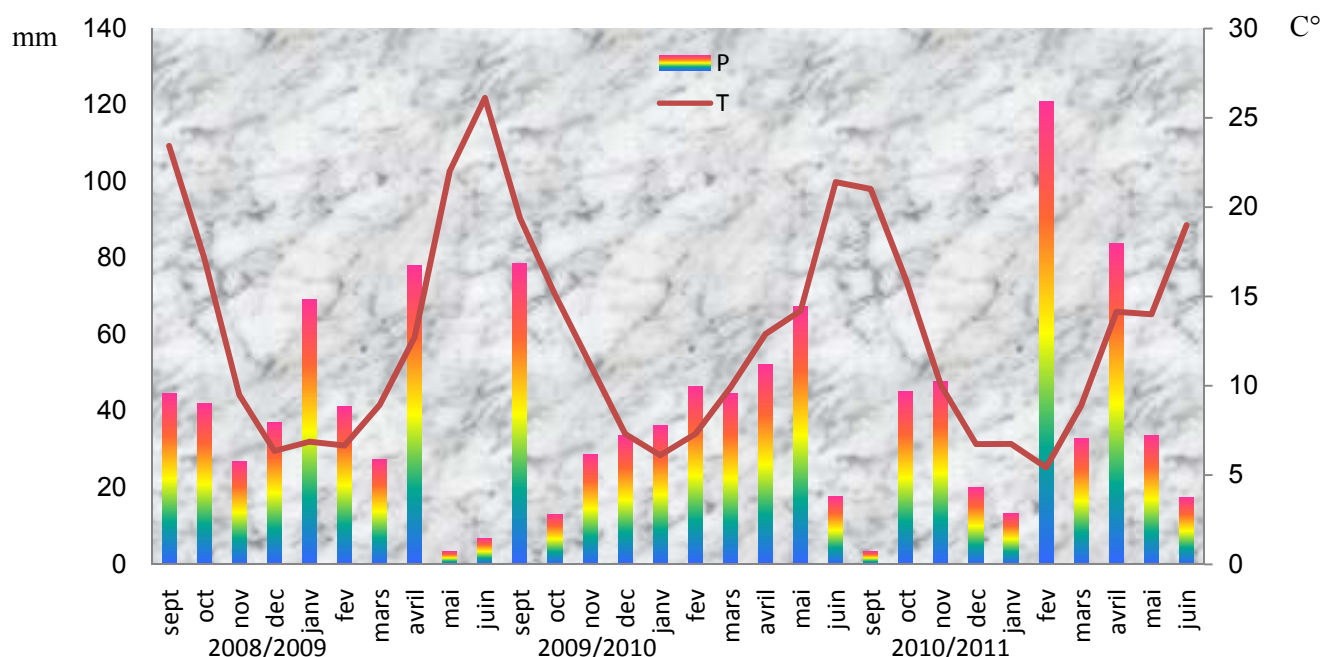


Figure 1. Température moyenne mensuelle et pluviométrie enregistrées au cours des trois dernières campagnes sur le site expérimental de la station expérimentale agricole de l'ITGC de Sétif.

3. Description du protocole expérimental adopté

Cette étude est menée sur un site expérimental où sont croisés trois techniques de travail du sol (**labour conventionnel, travail superficiel, semis direct**) et trois types de successions de cultures pour la troisième année. Le protocole expérimental adopté est : split-plot à deux facteurs avec trois répétitions, la parcelle principale est de 20 m de largeur et de 30 m de longueur, les petites parcelles ont 6 m de largeur et 30 m de longueur. Les grandes parcelles sont affectées par le travail du sol comme le facteur principal d'où trois types de travail de sol ont été étudiés (semis direct, travaux culturaux simplifiés, travail conventionnel), dans chaque type de travail de sol trois types de succession de cultures ont été pratiquées (**Figure 2**).

Les techniques de travail du sol étudiées

Trois techniques de travail du sol qui diffèrent par leur degré de fragmentation de la couche arable, par l'effet de retournement ou non de la couche du sol travaillée, par leur degré de mélange de la matière organique au sol et par le tassement du sol qu'ils engendrent, ont été comparées :

-Travail conventionnel : Un travail profond du sol a été effectué à l'aide d'une charrue à soc de profondeur avoisinant 30 cm. Suivi d'un passage de cover-crop et un hersage.

-Le travail moyen : dans ce mode de travail du sol, un passage de scarificateur à 11 dents et d'un cover-crop suivi d'un hersage.

-Le zéro travail du sol : aucun travail du sol n'a été effectué avant le semis, le semis s'est fait directement avec un semoir spécial de type **SMEATO** à espacement 17 cm entre les lignes.

Les successions des cultures étudiées : au cours des trois années, différentes cultures se sont succédées au sein des trois modes de travail du sol :

- **céréale/céréale/céréale**
- **fourrage/céréale/fourrage**
- **légumineuse/céréale/légumineuse**

Pendant les trois années, trois types de successions de cultures se sont installées, le premier type c'est une céréaliculture continue dont blé dur/blé tendre/blé dur, le deuxième type une succession des plantes fourragères (avoine, pois-orge) et d'une céréale (blé tendre), ce système prend en compte l'alimentation animale. Le troisième type c'est une alternance entre un légume sec (lentille) et une céréale (blé) dans ce système une diversification de l'alimentation humaine par un légume sec qui assure des besoins protéiques et une céréale qui garantit des besoins énergétiques. Au niveau du sol et la culture installée, le premier type est présumé néfaste vis-à-vis d'une part aux maladies et aux mauvaises herbes pour la culture et d'autre part l'appauvrissement du sol de quelques éléments nutritifs préférés par les céréales alors que les autres types font certain équilibre pour les différents aspects sol-végétal.

4. Mise en place et conduite de l'essai

Le semis : Il a eu lieu le 28/11/2010 pour la culture de blé et l'association pois-orge alors que la culture de lentille est semée le 30/11/2010. Il est effectué avec un semoir de type SEMEATO - PERSONALE DRILL 17 avec une dose de semis de 129 kg/ha pour le blé et 100 kg/ha pour la lentille. Pour le mélange fourrager, l'orge constitue 2/3 et le pois 1/3. L'espacement entre les lignes de semis est de 17 cm.

Le désherbage : La lutte chimique contre les mauvaises herbes a été réalisée en deux temps : Le premier en pré-semis, par l'utilisation d'un désherbant total : le GLYFOS, qui contient 360 g/l de Glyphosate acide, ajouté à l'eau acidulée (pH de bouillie égal à 5.5). La dose de désherbage était de 2.5 l/ha.

N.B. La bouillie utilisée est un mélange entre le désherbant, l'eau acidulée et l'eau normale.

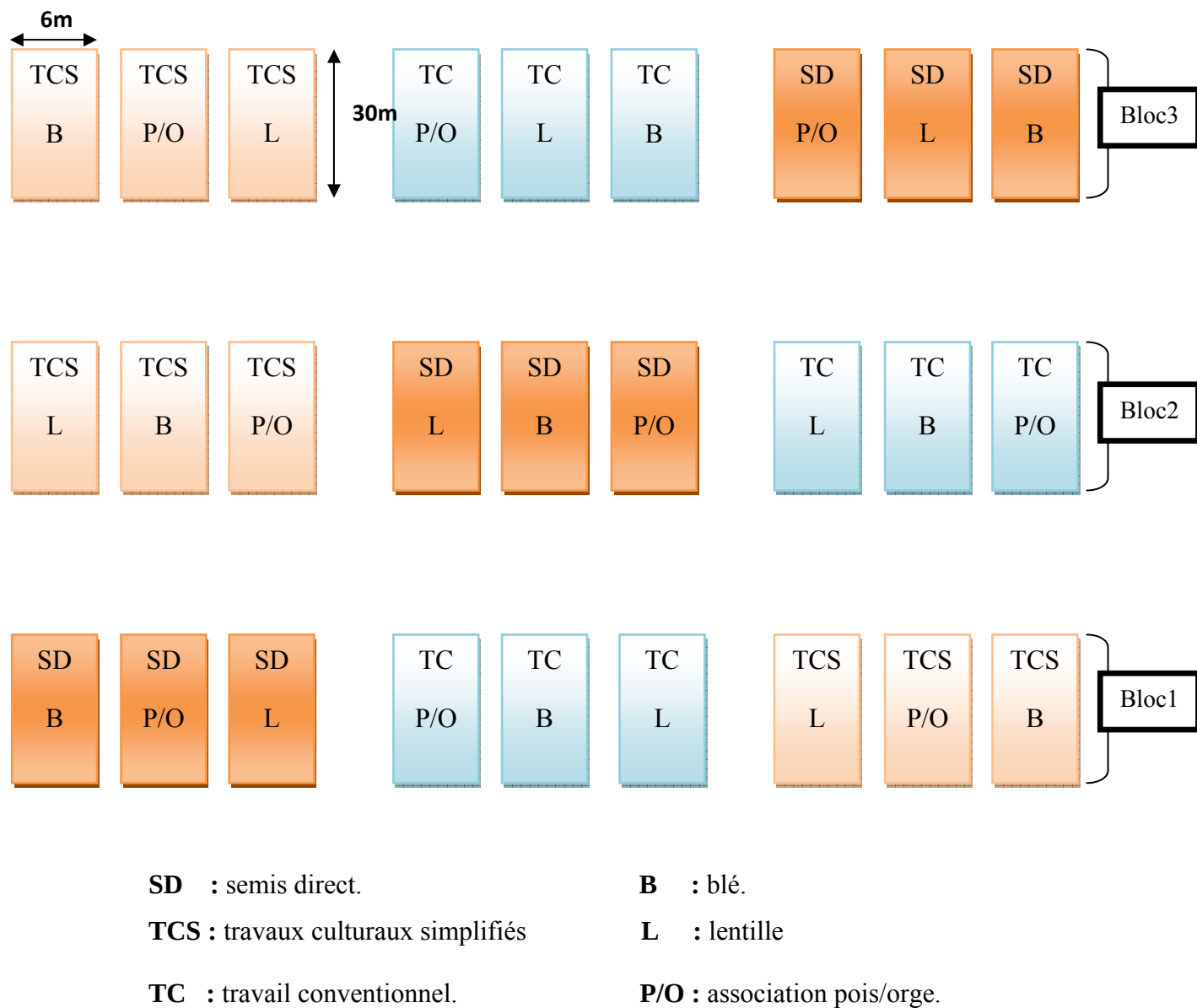


Figure 2. Schéma du protocole expérimental de l'essai « Split-Plot » pour la 3^{ème} année.

Le deuxième traitement (désherbage) : a été réalisé le 06/04/2011 pour seulement la culture de blé à l'aide d'un pulvérisateur tracté en utilisant un désherbant anti-monocotylédones et anti-dicotylédones, ce désherbant est un mélange entre **BRUMBY** et **GRANSTAR**. La dose de désherbage utilisée était 0.75l/ha.

La fertilisation : L'engrais de fond utilisé est de type **mono-ammonium phosphate granulé (MAP)** ayant une formule de **12 52 0**. Cet engrais a été incorporé directement au sol pendant l'opération de semis pour le semis direct, Alors que pour les deux autres techniques (TC et TCS), l'opération a été effectuée à la préparation du sol avec une dose d'épandage utilisée de 80 kg/ha.

L'engrais de couverture utilisé est **l'urée**, un apport de 120 kg/ha est effectué le 21/03/2010 sur les trois cultures et pour les trois modes du travail du sol.

II. Les mesures effectuées au niveau du sol :

1. Mesure de l'humidité pondérale

Plusieurs prélèvements ont été faits, au cours de l'année, sur trois profondeurs (0-10 cm, 10-15 cm, 20-30 cm). La prise des échantillons est réalisée avec une tarière. Les échantillons sont placés dans des boîtes métallique et mis à l'étuve après avoir été pesées. Après une durée de 24 heures, à une température de 105⁰C, ces échantillons sont à nouveau pesés, et le pourcentage d'humidité relative au poids sec du sol est donné par la formule suivante (**Baize, 2000**).

$$\text{Humidité pondérale (\%)} = (\text{Poids humide} - \text{Poids sec} / \text{Poids sec}) * 100$$

2. Mesure de la densité apparente du sol ou masse volumique

La mesure de la masse volumique du sol, est un indicateur du tassement du sol et de la porosité totale du sol. Elle a été mesurée par la méthode du cylindre calibré (**dimension de 5.2 cm x 4,1 cm**) (**Figure 3**). Les mesures sont réalisées sur deux profondeurs (0-7 cm et 8-15 cm) avec trois répétitions pour chaque traitement.

La masse volumique du sol (g.cm⁻³) est calculée selon l'équation (**Baize, 2000**).

$$\text{Masse volumique du sol (da)} = \text{masse totale du sol sec} / \text{volume du cylindre}$$

3. Vitesse de l'infiltration :

Afin de comparer la vitesse d'infiltration de l'eau entre les différents traitements étudiés. La perméabilité du sol a été évaluée à saturation, au mois d'avril de l'année d'étude, en utilisant le dispositif du double anneau, appareil de Mûntz et Laîné, décrite par **Colombani et al, 1973**, qui consiste à mesurer la quantité d'eau infiltré dans le sol durant une heure de temps (**Figure 4**).

La perméabilité K est calculée par la formule suivante :

$$K \text{ (cm/h)} = Q \text{ (cm}^3\text{)} / S \text{ (cm}^2\text{)}$$

Q: quantité d'eau infiltrée. **S:** section du cylindre.

3.1. Mesure sur champs

Il convient de choisir un emplacement à peu près plat et horizontal, la pente du terrain doit rester faible. Le cercle (petit anneau) et l'anneau de garde (grand anneau) sont enfoncés solidairement à 6 cm ; la limite est repérée par le bas des entretoises qui doivent juste être au contact de la surface du sol. On utilise pour cela une pièce de bois disposée sur le haut de l'appareil et une petite masse en frappant de façon à enfoncer l'ensemble régulièrement sans basculement ; même dans un sol dur on arrive à enfoncer l'appareil à 6 cm, cependant, il est possible de rencontrer des difficultés sur un sol très caillouteux (**Colombani et al., 1973**). Après la mise en place du dispositif sur le terrain, on remplit les deux anneaux d'eau jusqu' à saturation du sol, ensuite une charge de 3cm d'eau est constamment maintenue au niveau du petit cylindre pendant une heure. Le rapport entre la quantité d'eau ajoutée (cm³) et la section du cercle (cm²) correspond à la vitesse de percolation.

4. Prélèvement pour les analyses du sol :

Des prélèvements composites du sol ont été réalisés à l'aide d'une tarière à une seule profondeur de 0-20 cm, pour chaque parcelle élémentaire. Les échantillons sont, après avoir séchés, conservés dans des sachets en plastiques, étiquetés et envoyés au laboratoire de **Fertial** pour les analyses physico-chimiques. L'échantillonnage a eu lieu le 03/05/2011.

Cylindre



Figure 03. L'opération de prélèvement du sol pour la mesure de la densité apparente par la méthode de cylindre.

Eau

Anneaux externe

Anneaux interne



Figure 4 : l'opération de mesure de la vitesse d'infiltration avec l'appareil de Mûntz.

4.1. Les méthodes d'analyse du sol utilisées par Fertial

Les différentes méthodes utilisées pour l'analyse du sol sont représentées dans le tableau suivant

Tableau 1. Les différentes méthodes d'analyse utilisées par Fertial.

Les éléments physico-chimiques analysés	Méthode d'analyse correspondante
Granulométrie	La densimétrie
Azote total	Keldjal
Phosphore total	Olsen
Les bases échangeables : Ca K Na Mg	Extraction par l'acétate d'ammonium
Carbone total	Par oxydation sulfochromique
pH	Mise en solution dans l'eau
Conductivité électrique	Sur extrait en pate saturée

5. La description du profil cultural

Pour bien visualiser les modifications structurales du sol et l'enracinement, sous les différentes pratiques culturales, trois profils culturaux ont été ouverts à raison d'un profil par mode de travail du sol dans la culture de blé (SD blé, TCS blé, TC blé).

III. Les mesures effectuées au niveau du végétal

1. Le rendement et ses composantes

- ✓ Le peuplement à la levée : Deux stations de 03m linéaires, pour chaque parcelle élémentaire, sont choisies pour le comptage du nombre des plants levés. Sur les mêmes stations le nombre d'épis et de gousses est calculé pour les cultures (blé et lentille), puis rapporté au m².
- ✓ Le nombre de grains par épi ou par gousse : l'estimation du nombre de grains par épi, et par gousse est faite sur la base d'un échantillonnage au hasard de 20 plantes et puis faire la moyenne du nombre de grains pour les 20 plantes.

- ✓ Le rendement de biomasse du fourrage est estimé à partir d'un fauchage de 20m linéaires pour chaque parcelle élémentaire.
- ✓ Le poids de mille graines (PMG) (g) : Il est estimé sur la base d'un comptage et pesage de 250 graines par parcelle élémentaire.
- ✓ La hauteur des plantes : Elle est estimée à partir de vingt plantes prises au hasard des parcelles élémentaires, la mesure est effectuée sur la plante totale (barbes non incluses pour le blé et l'orge).

2. La cinétique d'accumulation de la matière sèche

La matière sèche totale accumulée est mesurée à différentes dates au cours du cycle de la plante (135 JAS, 141 JAS, 190 JAS). La végétation échantillonnée est fauchée d'un segment de rang de 0.3 m de long par parcelle élémentaire. Le poids sec est déterminé après passage à l'étuve à une température de 85 C° pendant 24 heures. Les valeurs sont exprimées en g/m².

IV. les mauvaises herbes

1. Date et méthode d'échantillonnage

Un suivi s'est fait pendant la campagne agricole, dont trois relevés ont été fait durant les mois de : mars, mai et juin. Un quadra de 1 m² est utilisé pour le suivi et le comptage des espèces. Dans chaque sortie les parcelles élémentaires sont affectées par deux stations, à chaque fois on note les espèces présentes et leur densité. Pendant le deuxième traitement contre les mauvaises herbes, des placettes de 1 m² sont couvertes par des films plastiques dans les parcelles de blé pour les utiliser plus tard comme des stations et de cette façon on peut faire une comparaison avec les traitements qui n'ont pas subis le deuxième désherbage chimique.

L'échantillonnage de la biomasse des adventices est effectué à partir d'un fauchage de 1 m² vers la fin de cycle des cultures (blé et lentille) pour chaque parcelle élémentaire. Le poids sec est déterminé après passage à l'étuve à une température de 85 C°, les valeurs sont exprimées en g/m².

2. Détermination des espèces

Pour la détermination des espèces on a utilisé le guide **des mauvaises herbes des céréales d'hiver en Algérie**, et à l'aide des ingénieurs qualifiés de l'ITGC.

3. Calcul des fréquences (F%) et contributions des espèces

$$F \% = (\text{nombre des stations où l'espèce est présente} / \text{Nombre total des stations}) * 100$$

$$\text{Contribution \%} = (\text{nombre d'espèces ou de genres} / \text{nombre total d'espèces ou de genres}) * 100$$

V. Les analyses statistiques

L'analyse de variance et l'étude de corrélation des données collectées sont réalisées avec le logiciel SAS (statistical analysis system), version 9.00 (sas institut, 2002 Carry, Etats Unis). L'étude des moyennes est effectuée par Le test Fisher LSD au seuil de 5 % pour constituer des groupes homogènes. Les figures sont réalisées par l'utilisation d'Excel 2007.

Chapitre 03. Résultats et discussion

I. Les paramètres liés au sol

1. Les analyses physico-chimiques du sol

Selon les analyses effectuées au laboratoire (**Tableau 02**), le sol du site expérimental est un sol de texture limono-argileuse (**Figure 05**).

L'azote total présente un niveau faible (0,11%), selon **Bruce et Rayment (1982)** quand le niveau d'azote est compris entre 0,05 et 0,15%, il est considéré comme faible. Concernant le niveau du phosphore, il est considéré comme très élevé (**Holford et Cullis, 1985**).

Tableau 02. Caractéristiques physico-chimiques moyennes de l'horizon 0-20 cm du site expérimental.

Analyse physico-chimiques du sol étudié			
Analyse physique		Analyse chimique	
Sable %	40	N %	0,11
Limon %	32	P Olsen ppm	35,81
Argile %	28	K ppm	207,61
		Na meq/100g	0,17
		Ca meq/100g	32,65
		Mg meq/100g	1,06
		C %	35,41
		Conductivité électrique μs	114,44

2. Description morphologique des profils cultureux

A partir de la description du profil culturel (**Annexe 3**), le sol du site expérimentale est un sol à texture limono-argileuse, ayant une couche arable réduite (sol superficiel) où les profondeurs maximales sont inférieures à 35 cm, sa structure est fragmentaire (sol travaillé). Seulement deux horizons qui se distinguent par leur friabilité et leur l'humidité (**Figure 06**).

Dans les trois profils cultureux effectués (SD, TCS, TC), la limite entre les horizons est très diffuse. Le deuxième horizon se place avec des limites très nettes sur une dalle calcaire. Le sol est très riche en éléments calcimagnésiques (vive effervescence) où des nodules blancs et friables sont répartis sur tout le profil. Pour la matière organique, il apparaît que ce sol est pauvre en matière organique en se basant sur sa couleur. Quelques galeries et débris de coquille apparaissent aussi dans les profils étudiés. En ce qui concerne l'activité biologique, les racines des plantes cultivées sont nombreuses (SD, TCS) à très nombreuses (TC). Au fond du deuxième horizon (au niveau de la dalle calcaire), des racines s'intensifient du fait de l'obstacle de la dalle calcaire qui est très proche à la surface, ce caractère défectueux présenterait un obstacle pour les plantes à racines profondes.

D'après la description (**Annexe 3**), il n'y a pas de grosses différences morphologiques entre les trois profils cultureux (SD, TCS, TC) sauf quelques différences qui apparaissent au niveau de :

- **La cohésion** : le SD est le plus compact suivi par les TCS et en dernière position le travail conventionnel.
- **La friabilité** : les mottes produites du travail conventionnel très friables comparativement aux techniques conservatrices (SD, TCS).
- **Le système racinaire** : Le TC se caractérise par un système racinaire plus développé que le SD et les TCS.
- **L'humidité naturelle** : Le SD (H 1 : peu sec. H 2 : frais), les TCS et le TC (H1 : sec. H2 : frais)
- **La porosité** : Le SD et les TCS (moyenne), le TC (forte)
- **La présence de vers de terre** : quelques vers de terre trouvés en TC.

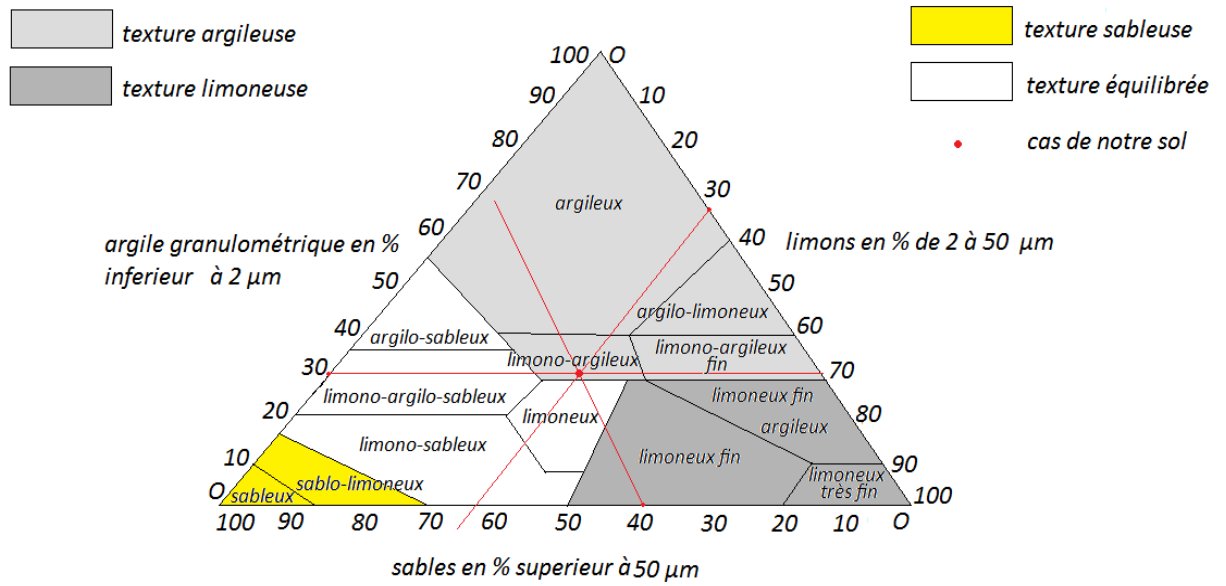


Figure 05. Texture du sol étudié selon le triangle de textures (Soltner, 2005).

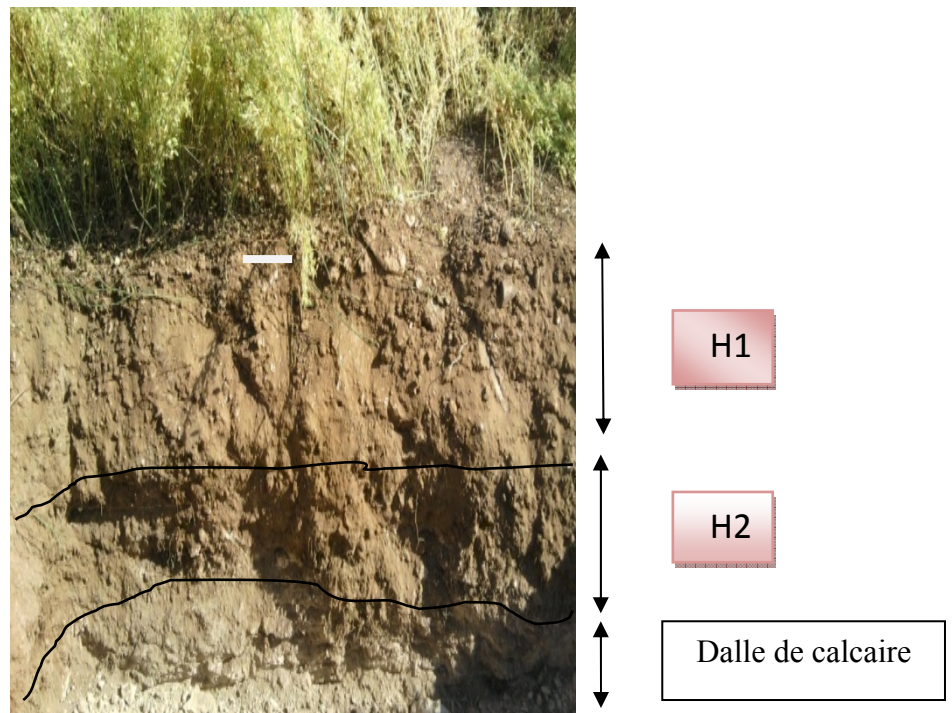


Figure 06. La délimitation des différents horizons du profil culturel étudié.

3. L'effet des pratiques culturales sur les propriétés chimiques du sol

L'analyse de la variance révèle un effet de travail de sol hautement significatif pour les éléments minéraux du sol suivants : P, K, Ca, C et ne présente aucun effet pour les éléments : N, Na, Mg, pH, Ce, et révèle un effet de culture hautement significatif pour le phosphore et le calcium et significatif pour le potassium et le sodium (**Tableau 03**).

Le carbone total : L'étude des moyennes indique deux groupes formés pour le carbone total (**Tableau 04**), les techniques conservatrices du sol (SD, TCS) présentent un avantage en comparaison au TC et constituent un même groupe affichant respectivement les moyennes de 39,60 et 37,99 %. Le deuxième groupe est formé par le TC qui affiche une moyenne de 28,65% (**Figure 07**). Nos résultats sont similaires aux résultats d'**Al-Kaisi et Yin (2005)**, **D'Haene et al., (2008a)**, **Gál et al., (2007)**, **Koch et Stockfisch (2006)**, **Needelman et al., (1999)** et **Pekrun et al., (2003)** où ils notent que Les concentrations en C et en N organique dans les systèmes de conservation sont en général supérieures dans les 10 premiers centimètres du sol par rapport à un sol labouré et décroissent fortement dans les horizons sous-jacents. Cependant, d'autres montrent que les techniques du travail du sol n'ont que peu d'effets sur ces stocks (**Balesdent et al., 2000**; **D'Haene et al., 2008a**; **McCarty et al., 1998**; **Needelman et al., 1999**). Les stocks de C et N qui sont supérieurs en semis direct s'explique selon **Gál et al (2007)** du fait de l'augmentation de la densité apparente de cette couche de sol. **Zihlmann et al (2001)** et **Müller et al (2008)** expliquent ces résultats par le fait que les résidus végétaux ne sont pas enfouis et se décomposent en surface en semis direct contrairement au TC où ils sont enfouis en profondeur.

Le phosphore : deux groupes seulement se sont formés (**Tableau 04**), dans le premier groupe le SD qui détient la première place avec une moyenne de 38,20 ppm, suivis par les TCS et le TC (en deuxième groupe) qui affichent respectivement les moyennes de 35,45 ppm et 33,78 ppm (**Figure 08**). Des résultats similaires sont obtenus par **Barber (1995)** et **Sharpley (2003)**, ils les expliquent par le fait qu'en semis direct, le phosphore se concentre en surface du sol contrairement au labour qui lui provoque une homogénéisation sur tout le profil cultural.

Le potassium : deux groupes se sont formés, dans le premier groupe se trouvent les TCS qui affichent une moyenne de 214,41 ppm, suivis par le SD et le TC (en deuxième groupe) qui affichent respectivement les moyennes de 206,25 ppm et 202,18 ppm (**Figure 09**).

Tableau 03. Carré moyen de l'analyse de la variance des analyses du sol étudié sur profondeur de 20 cm.

Source de variation	ddl	N	P	K	Na	Ca
Tvx	2	0,000025 ^{ns}	44,77**	349,33**	0,0015 ^{ns}	10,23**
Cltrs	2	0,000025 ^{ns}	45,54**	162,34*	0,0054*	2,95**
Tvx*Cltrs	4	0,000050*	61,28***	73,55 ^{ns}	0,0008 ^{ns}	6,34**
Erreur	18	0,000011	4,62	41,24	0,0011	1,103
CV%		3,03	6,006	3,09	19,02	3,21
		Mg	C	pH	Ce	
Tvx	2	0,018 ^{ns}	314,63**	0,0028 ^{ns}	3,58 ^{ns}	
Cltrs	2	0,014 ^{ns}	46,12 ^{ns}	0,0009 ^{ns}	134,08 ^{ns}	
Tvx*Cltrs	4	0,017 ^{ns}	51,20 ^{ns}	0,0056*	237,70 ^{ns}	
Erreur	18	0,011	32,88	0,001	88,27	
CV%		9,90	16,19	0,51	8,20	

ns, *, **, ***, effet non significatif, significatif, hautement significatif, très hautement significatif au seuil 5 %.

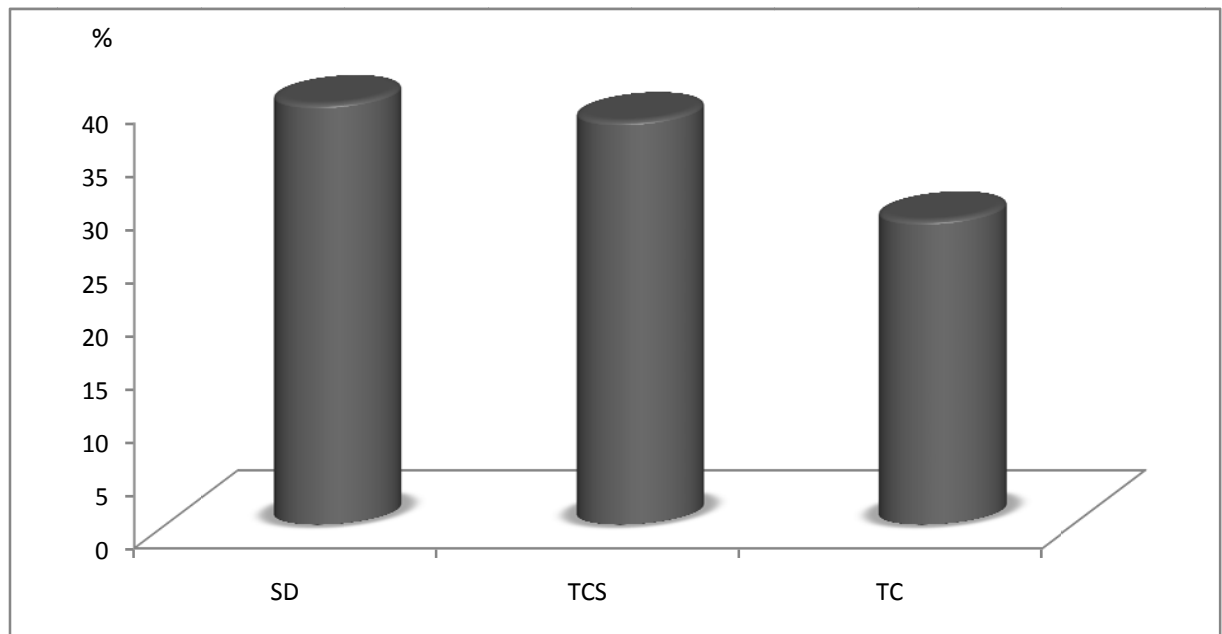


Figure 07 : variation du taux du carbone total sous l'effet du travail du sol.

Le calcium : les techniques conservatrices du sol SD et TCS présentent un avantage en comparaison au TC et constituent le premier groupe affichant respectivement les moyennes de 32,83 et 33,66 méq/100g, alors que le TC se place en troisième position et constitue le troisième groupe avec une moyenne de 31,54 méq/100g (**Figure 10**).

Le non retournement du sol en semis direct conduit à un enrichissement en éléments minéraux des premiers centimètres de sol par rapport à une situation avec labour (**Follett et Peterson, 1988 ; Edwards et al., 1992**). cependant, **Pekrun et al., (2003)** notent qu'en semis direct, les quantités d'éléments minéraux peuvent être réduites en profondeur, notamment le phosphore et le potassium.

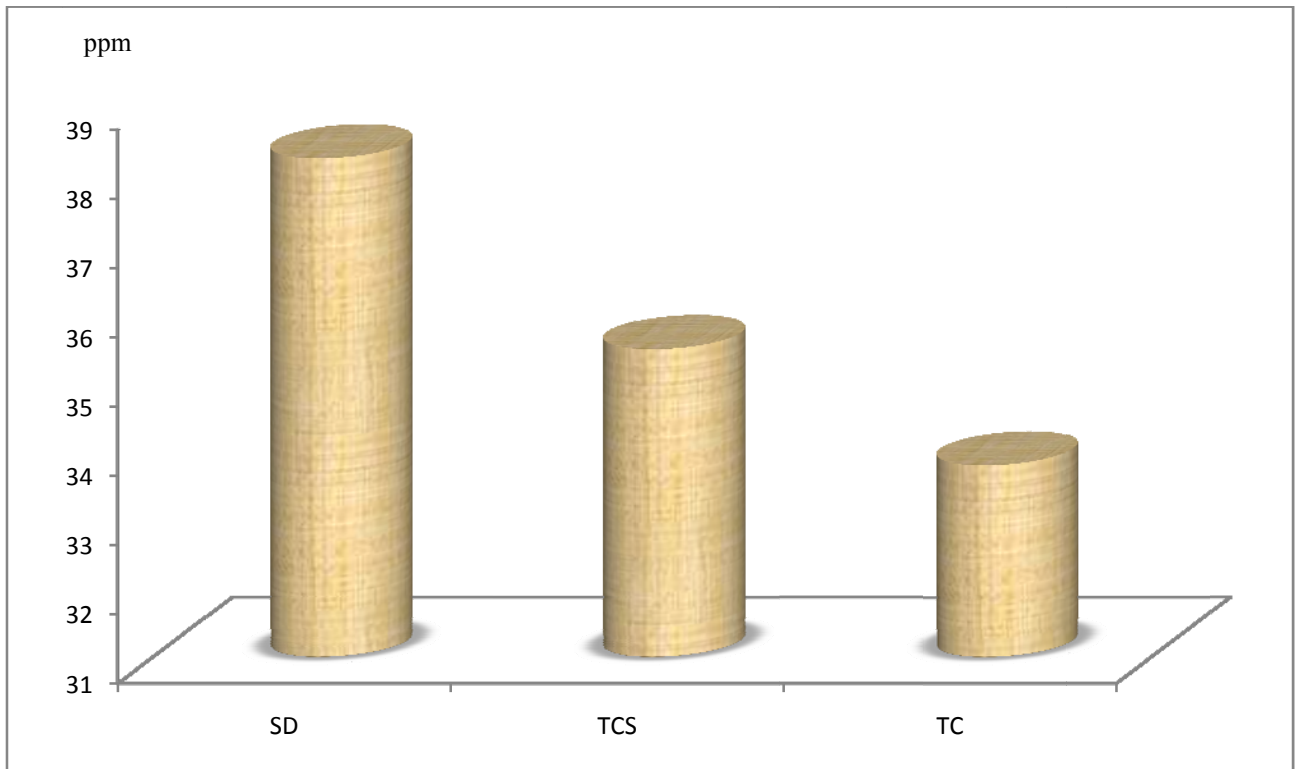


Figure 08. Variation du taux du phosphore sous l'effet du travail du sol.

Tableau 04. Valeurs moyennes de quelques éléments chimiques étudiés.

	P	K	Ca	C
Traitements				
SD	38,20 ^a	206,25 ^b	32,83 ^a	39,60 ^a
TCS	35,45 ^b	214,41 ^a	33,66 ^a	37,99 ^a
TC	33,78 ^b	202,18 ^b	31,54 ^b	28,65 ^b
MG	35,81	207,61	32,67	35,41

	P	K	Ca	Na
Traitements				
Blé	35,01 ^b	211,98 ^a	33.33 ^a	0,160 ^b
Lentille	38,35 ^a	203,50 ^b	32.45 ^{ab}	0,161 ^b
Pois-orge	34,06 ^b	207,36 ^{ab}	32.25 ^b	0,203 ^a
MG	35,80	207,61	32.67	0,174

Moyennes suivies par la même lettre ne son pas significativement différentes au seuil de 5 %.

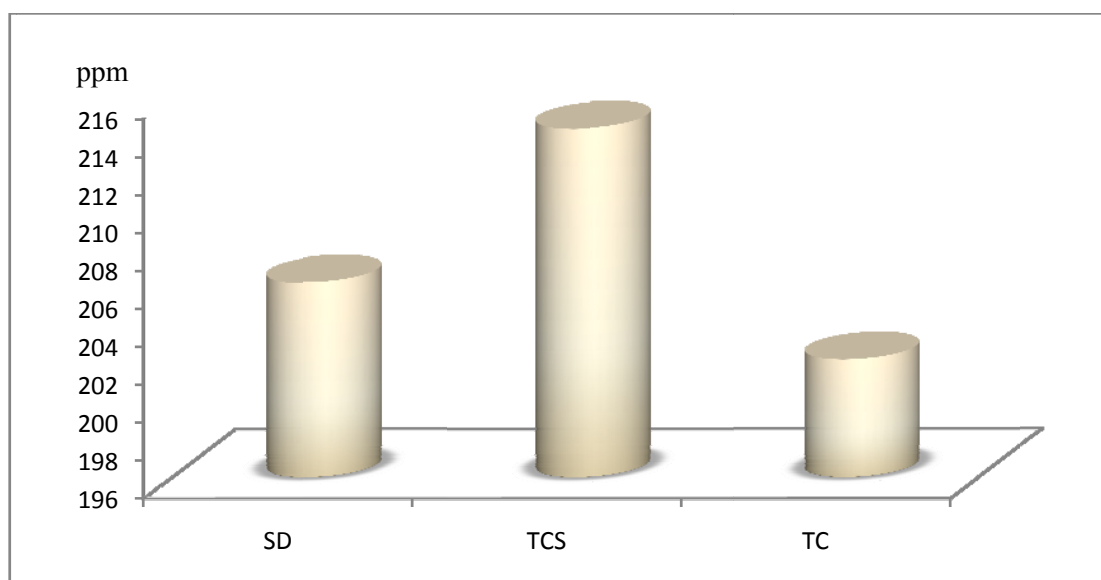


Figure 09. Variation du taux du potassium sous l'effet du travail du sol.

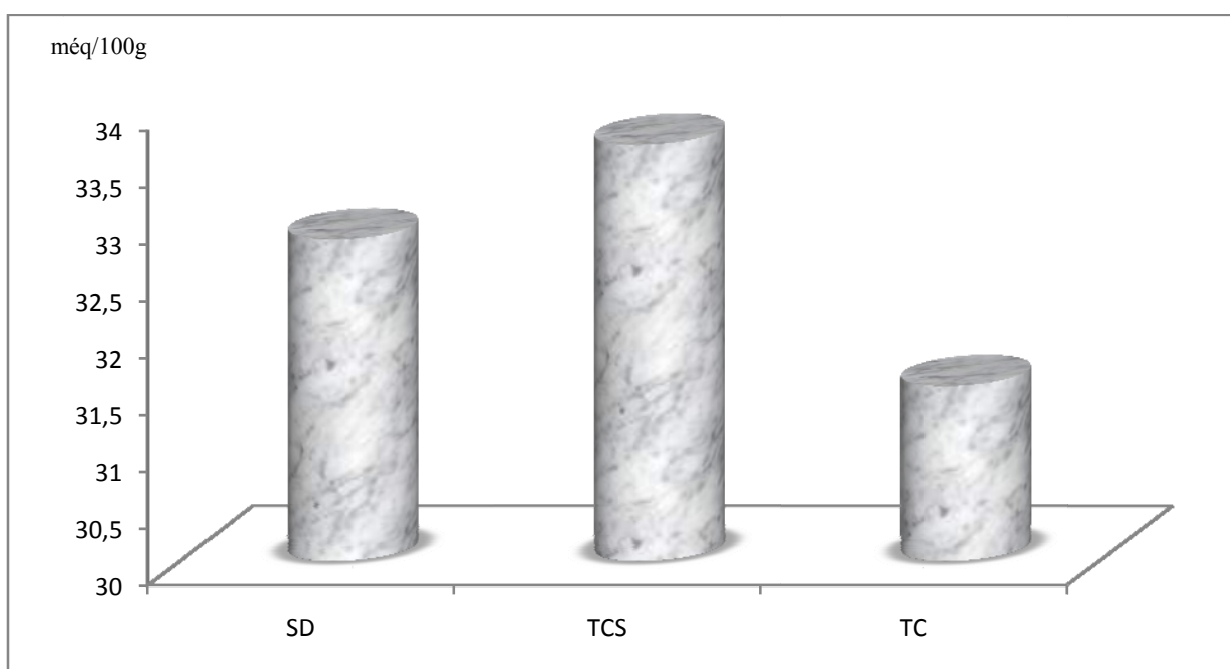


Figure 10. Variation du taux du calcium sous l'effet du travail du sol.

L'étude des moyennes des différentes rotations (**Tableau 04**) montre :

Le phosphore : Deux groupes se sont formés, le premier groupe englobe la rotation légumineuse-céréale-légumineuse (**R2**), affichant une moyenne de 38,35 ppm et le deuxième groupe renferme la monoculture céréale-céréale-céréale (**R1**) et la rotation fourrage-céréale-fourrage (**R3**) avec des moyennes respectives de 35,01 et 34,06 ppm (**Figure 11**).

Le potassium : Trois groupes qui se distinguent, dans le premier, la monoculture céréale-céréale-céréale (**R1**) qui présente un avantage affichant une moyenne de 211,98 ppm suivie par celle de fourrage-céréale-fourrage (**R3**) dans le deuxième groupe qui indique une moyenne de 207,36 ppm et en dernière place légumineuse-céréale-légumineuse (**R2**) qui forme le troisième groupe avec une moyenne de 203,50 ppm (**Figure 12**).

Le sodium : légumineuse-céréale-légumineuse (**R2**) avec une moyenne de 0,20 meq/100g, constitue le premier groupe, suivie par la culture de la rotation fourrage-céréale-fourrage (**R3**) et la monoculture céréale-céréale-céréale (**R1**) (en deuxième groupe) avec des moyennes respectives de 0,161, 0,160 meq/100g.

Le calcium : l'étude des moyennes montre trois groupes, dans le premier groupe la monoculture céréale-céréale-céréale (**R1**) qui affiche la moyenne la plus élevée (33,33 meq/100g), ensuite légumineuse-céréale-légumineuse (**R2**) dans le deuxième groupe avec une moyenne de 32,45 meq/100g et enfin la rotation fourrage-céréale-fourrage (**R3**) qui affiche une moyenne de 32,25 meq/100g et constitue le troisième groupe (**Figure 13**).

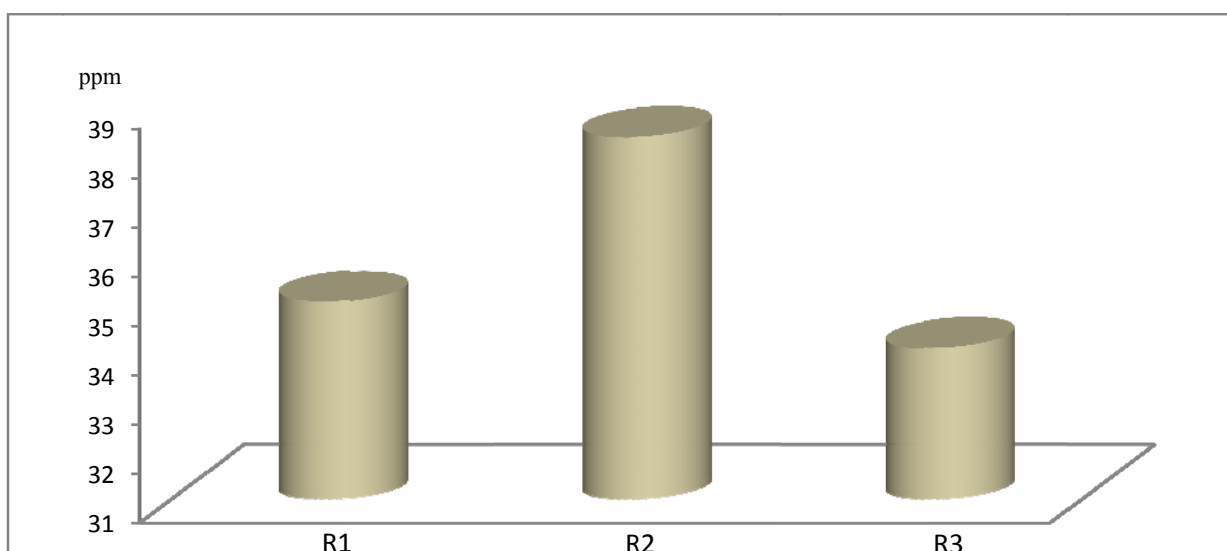


Figure 11. Variation du taux du phosphore en fonction du type de rotation.

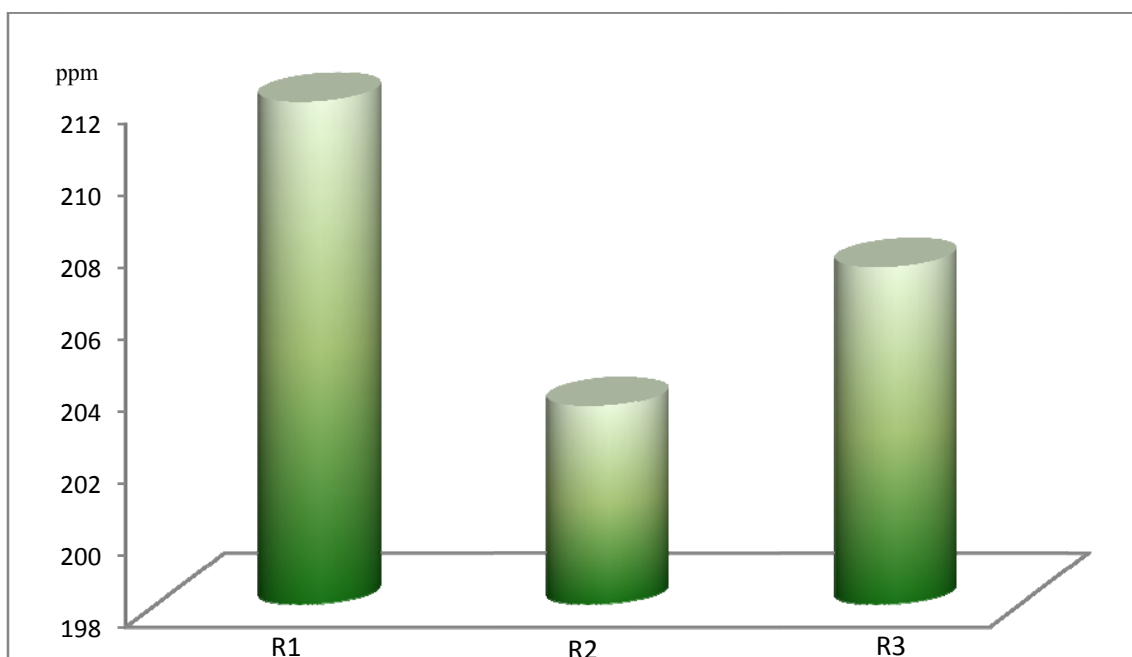


Figure 12. Variation du taux du potassium en fonction du type de rotation.

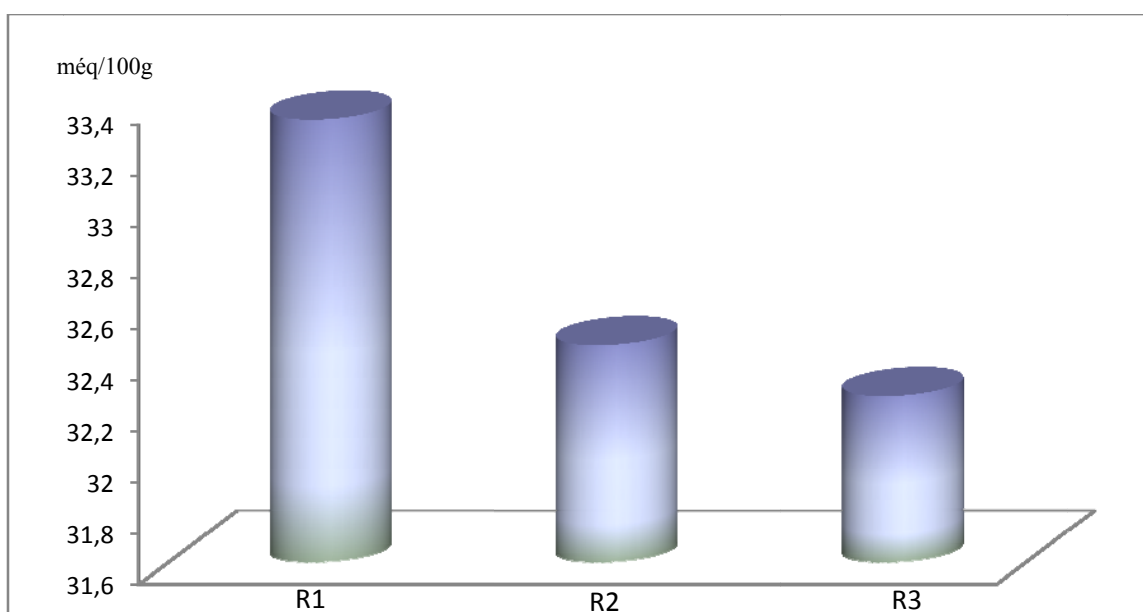


Figure 13. Variation du taux du calcium en fonction du type de rotation.

4. L'effet des pratiques culturales sur les propriétés physiques du sol

4.1. Humidité du sol

L'étude de la variance montre un effet travail du sol significatif seulement pour la première date (3JAS), la deuxième date (133JAS) et la troisième date (148JAS) (**Tableau 05**).

La première date : le travail du sol présente un effet très hautement significatif pour la première profondeur et significatif pour la deuxième et la troisième profondeur. Pour l'effet de culture, il apparaît hautement significatif seulement au niveau de la deuxième profondeur. L'effet de l'interaction (Txv*Cltrs) est significatif à la troisième profondeur.

La deuxième date : le seul effet qui apparaît significatif est l'effet de travail du sol à la troisième profondeur.

La troisième date : au niveau de la deuxième profondeur, un effet hautement significatif pour le travail du sol et très hautement significatif pour le type de culture, a été noté.

L'étude des valeurs moyennes du taux de l'humidité de la première et la deuxième profondeur pour la première date indique toujours une supériorité des TCS suivis par le SD (en premier groupe) et en dernière position le TC qui constitue le troisième groupe, au niveau de la troisième profondeur les TCS présentent un avantage et constituent à eux seuls le premier groupe suivis respectivement par le SD et les TCS en deuxième groupe (**Tableau 06**).

A la deuxième date, au niveau de la troisième profondeur, les TCS se présentent en première position, forment le premier groupe avec une moyenne de 24,47% suivis par le TC ayant une moyenne de 22,51% en constituant le deuxième groupe et en dernière place le SD qui forme le 3^{ème} groupe et affiche une moyenne de 21,02% (**Tableau 06**).

A la troisième date, au niveau de la deuxième profondeur l'étude des moyennes indique aussi une supériorité des TCS suivis par le SD, qui forment un groupe homogène et en dernière position le TC qui constitue un groupe à part (**Tableau 06**).

IL est notable que le techniques conservatrices (SD, TCS) présentent un avantage au niveau des profondeurs 0-10cm et 10-20 cm aux différentes dates de prélèvement avec une priorité des TCS.

Tableau 05. Carré moyen de l'analyse de la variance de l'humidité prise à différentes dates au cours du cycle des cultures sur les profondeurs : 0-10cm, 10-20cm, 20-30cm.

Source de variation	ddl	3JAS	133JAS	148JAS	224JAS	239JAS
Tvx	2	5,32***	1,92 ^{ns}	13,88 ^{ns}	22,91 ^{ns}	10,18 ^{ns}
Cltrs	2	0,27 ^{ns}	0,78 ^{ns}	3,33 ^{ns}	5,81 ^{ns}	10,26 ^{ns}
(pr1) Tvx*cltrs	4	0,98 ^{ns}	1,22 ^{ns}	0,52 ^{ns}	13,36 ^{ns}	0,28 ^{ns}
erreur	18	0,36	1,29	14,87	7,27	3,78
CV%		3,52	5,03	26,63	12,49	12,43
Tvx	2	1,69*	3,01 ^{ns}	10,05**	52,23 ^{ns}	0,98 ^{ns}
Cltrs	2	3,55**	0,53 ^{ns}	22,40***	24,75 ^{ns}	7,03 ^{ns}
(pr2) Tvx*cltrs	4	0,80 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,05 ^{ns}	22,97 ^{ns}	12,80 ^{ns}
erreur	18	0,37	2,15	1,20	26,92	11,07
CV%		3,65	6,52	26,21	7,80	21,62
Tvx	2	6,61*	25,81*	10,68 ^{ns}	10,79 ^{ns}	8,46 ^{ns}
Cltrs	2	0,78 ^{ns}	2,57 ^{ns}	4,73 ^{ns}	3,72 ^{ns}	3,98 ^{ns}
(pr3) Tvx*cltrs	4	3,55*	3,29 ^{ns}	1,91 ^{ns}	2,09 ^{ns}	2,83 ^{ns}
erreur	18	1,20	4,50	4,28	8,04	3,21
CV%		6,39	9,35	14,31	17,57	11,98

ns, *, **, ***, effet non significatif, significatif, hautement significatif, très hautement significatif au seuil 5 %.

Les résultats obtenus sont similaires à ceux d'**Al-ouda (2010)**, où il a montré que la quantité de l'eau dans les 20 cm de surface du sol a diminuée significativement d'un type de travail du sol à un autre comme suit SD, TCS, TC. Dans une culture de blé dur au niveau de l'horizon (0-20 cm) **Abdellaoui et al., (2010)** affirment que le semis direct et les travaux simplifiés permettent une meilleure rétention en eau par rapport au labour conventionnel avec la charrue à soc. La non manipulation du sol et le maintien d'un couvert végétal aident à prolonger la durée de dessèchement de la surface et gardent le sol plus humide pour période de temps plus longue (**Mrabet, 1997**).

Concernant l'effet de culture, deux groupe sont constitués pour l'humidité prélevée à la première date - deuxième profondeur, le premier groupe renferme l'association de pois-orge qui présente un avantage avec une moyenne de 17,42% suivie par la culture de lentille qui affiche une moyenne de 16,86 %. Dans le deuxième groupe, on trouve La culture de blé qui affiche une moyenne de 16,17% (**Tableau 06**). A la troisième date, au niveau de la deuxième profondeur trois groupes se distinguent, le premier groupe est représenté par la culture de blé affichant une moyenne de 15,67% suivie par l'association de pois-orge (14,09%) dans le deuxième groupe et en dernière position la culture de lentille qui forme le troisième groupe avec une moyenne de 12,51% (**Tableau 06**).

4.2. La densité apparente

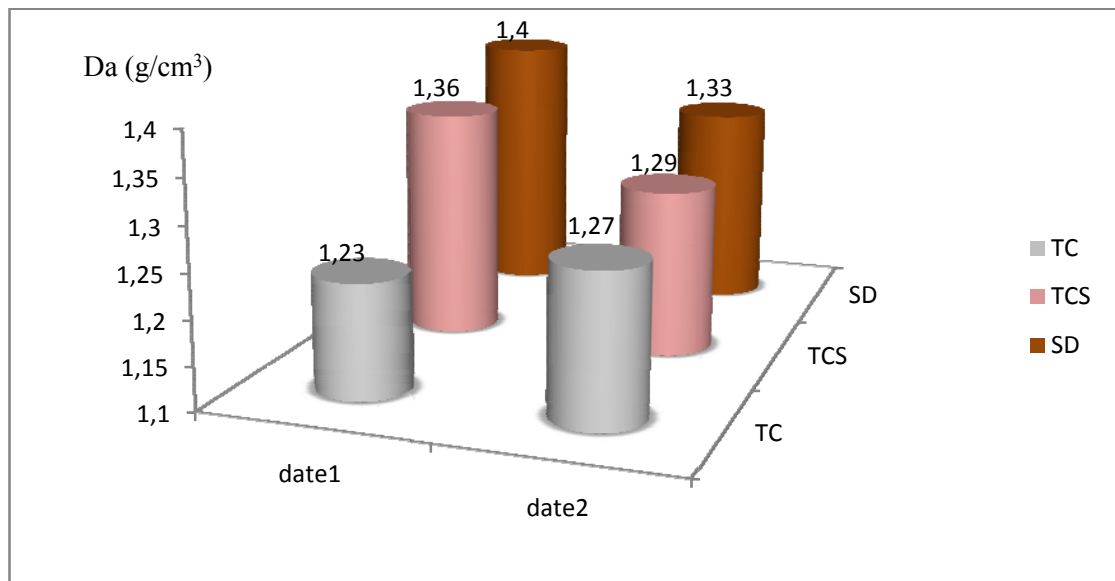


Figure 14. Variation de la densité apparente en fonction des dates et des travaux culturaux (SD, TCS, TC) au niveau la première profondeur (0-7cm).

Tableau 06. Valeurs moyennes de l'humidité du sol prélevée à différentes dates au niveau des profondeurs : **1** : (0-10 cm). **2** : (10-20 cm). **3** (20-30 cm).

	3JAS 1	3JAS 2	3JAS 3	13JAS 3	148JAS 2
Traitements					
SD	17,33 ^a	16,94 ^a	16,98 ^b	21,02 ^b	15,11 ^a
TCS	17,89 ^a	17,17 ^a	18,10 ^a	24,47 ^a	14,15 ^a
TC	16,37 ^b	16,33 ^b	16,42 ^b	22,51 ^{ab}	13,004 ^b
MG	17,19	16,81	17,16	22,69	14,088
3JAS 2			148JAS 2		
Traitements					
Blé	16,17 ^b		15,67 ^a		
lentille	16,86 ^a		12,51 ^c		
pois-orge	17,42 ^a		14,09 ^b		
MG	16,81		14,09		
Moyennes suivies par la même lettre ne son pas significativement différentes au seuil d 5 %.					

La figure (14), montre une supériorité du semis direct, suivi toujours par les TCS et en fin le TC pour les deux dates de prélèvement. Ces résultats sont confirmés par l'analyse de la variance (**Tableau 07**) qui montre un effet travail du sol hautement significatif au niveau de la première profondeur (0.-7cm) pour la première date et ne montre aucun effet pour la deuxième profondeur dans les deux dates. Alors qu'aucune signification n'a été montrée pour l'effet culture (**Tableau 07**).

L'étude des valeurs moyennes des différentes pratiques culturales (**Tableau 08**), distingue deux groupes pour la première date, où le SD et les TCS forment le premier groupe et le TC constitue le deuxième. La densité apparente a diminuée du semis direct (1.40g/cm^3) et TCS ($1,36\text{ g/cm}^3$) au TC ($1,23\text{ g/cm}^3$). Nos résultats concordent avec nombreuses études réalisées dans des conditions pédoclimatiques variés qui concluent à une augmentation de la densité apparente en semis direct dans les cinq à dix premiers centimètres de sol (Ehlers *et al.*, 1983 ; Hammel, 1989 ; Hill, 1990 ; Grant et Lafond, 1993 ; Rhoton *et al.*, 1993 ; Unger et Jones, 1998 ; Lampurlanés et Cantero-Martínez, 2003 ; Basic *et al.*, 2004). Cependant ces résultats sont en contradiction avec ceux obtenus par Abdelloui *et al* (2010) après trois ans d'application de la technique de non labour : une nette différence est marquée au niveau de l'horizon de surface (0-7 cm), une diminution de la densité apparente, passant de $1,39\text{ g/cm}^3$ en mode conventionnel à $1,33\text{ g/cm}^3$ en travail minimum.

Les résultats obtenus peuvent être expliqués par le fait qu'en semis direct le sol n'est pas perturbé et donc reste relativement compact en revanche en travail conventionnel et en travaux culturaux simplifiés où le sol est remué par les outils aratoires ce qui diminue la densité apparente. Selon Guérif (1994), Rasmussen (1999) et Tebrügge et Düring (1999), réduire l'intensité et la profondeur du travail du sol conduit en général à une augmentation de la densité apparente du sol mais pas au-delà de l'ancien fond de labour. Tebrügge et Düring (1999) montrent que l'écart de densité apparente entre un sol labouré et un sol non travaillé est maximal après le passage de la charrue ; l'écart décroît au cours de la saison de culture.

4.3. La perméabilité

La figure (16 (B)) représente l'écart à la moyenne générale de la perméabilité des différents types de travail du sol adoptés, elle indique un écart relativement élevé pour le TC (6,24) en revanche le SD affiche un écart négatif (-6,29), les TCS s'installe en position intermédiaire avec un écart qui s'approche à la moyenne générale de l'essai (0,05). La figure (16 (A)) présentant l'écart à la moyenne générale de la perméabilité des différentes cultures installées, affiche l'écart positif le plus élevé pour l'association pois-orge (5,81) suivi par la culture de blé avec un écart de 2,5 et en dernière position la culture de lentille avec un écart négatif de -8,29.

Tableau 07. Carré moyen de l'analyse de la variance de la densité apparente à différentes dates.

source de variation	ddl	Da1	Da2
Tvx	2	0,065**	0,010 ^{ns}
Cltrs	2	0,012 ^{ns}	0,002 ^{ns}
(pr1) Tvs*cltrs	4	0,005 ^{ns}	0,002 ^{ns}
erreur	18	0,008	0,005
CV%		6,85	5,80
Tvx	2	0,004 ^{ns}	0,008 ^{ns}
Cltrs	2	0,002 ^{ns}	0,016 ^{ns}
(pr2) Tvx*Cltrs	4	0,012 ^{ns}	0,004 ^{ns}
erreur	18	0,017	0,004
CV%		10,04	5,35

ns, *, **, effet non significatif, significatif, hautement significatif au seuil 5 %.

Tableau 08. Valeurs moyenne de la densité apparente au niveau la profondeur 0-7cm.

Traitements	Da1
SD	1,40 ^a
TCS	1,36 ^a
TC	1,23 ^b
MG	1,33

Moyennes suivies par la même lettre ne son pas significativement différentes au seuil d 5 %.

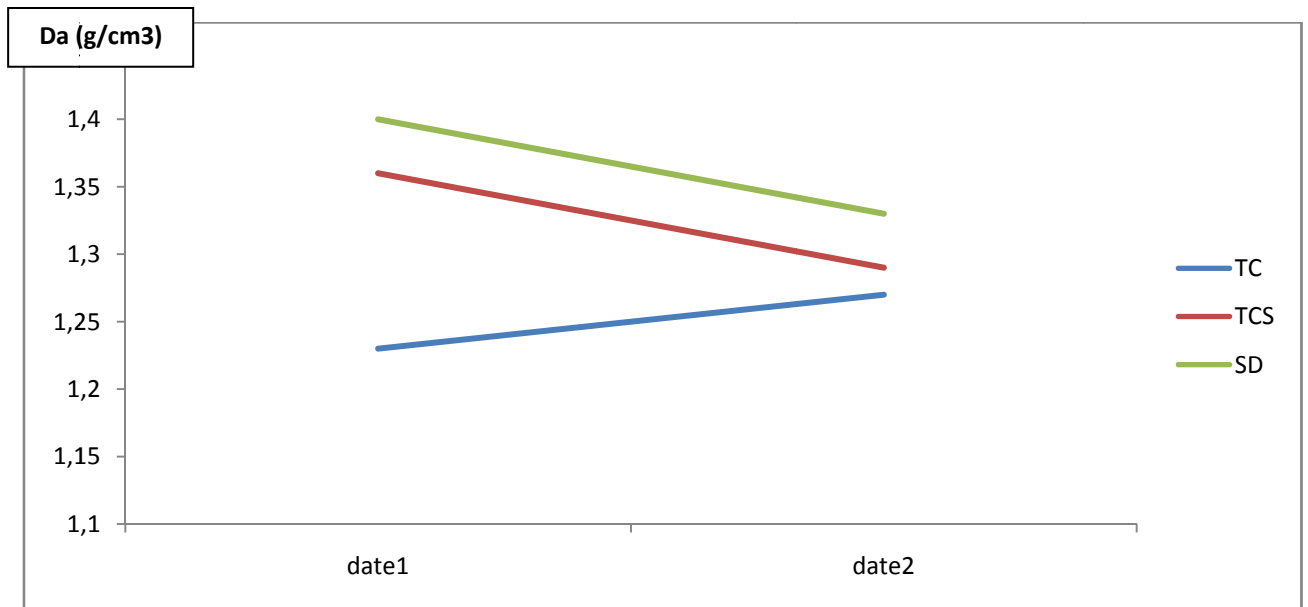


Figure 15. Evolution la densité apparente (0-7 cm) au cours de la campagne d'étude sous l'effet du travail du sol.

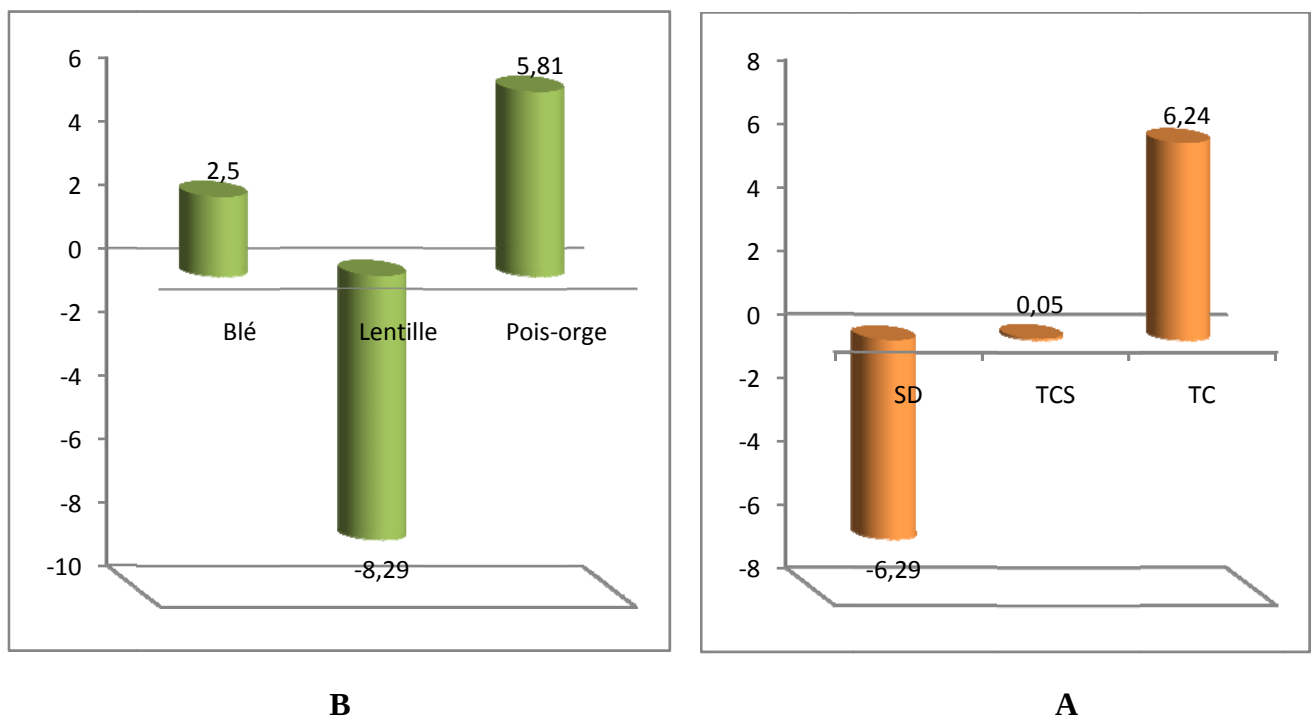


Figure 16. Ecart à la moyenne de l'essai de la perméabilité en fonction du travail du sol (A) et de la culture (B).

L'analyse de la variance de la perméabilité montre un effet significatif, hautement significatif et très hautement significatif pour respectivement le travail du sol, le type de culture et l'interaction des deux facteurs (**Tableau 09**).

L'étude des valeurs moyennes de la densité apparente de l'effet du travail du sol fait apparaître trois groupes statistiques homogène distincts, le TC est le leader avec une moyenne de 42,87 cm/h constituant à lui seul le premier groupe suivi par les TCS en position intermédiaire (36.68 cm/h) formant aussi à lui seul le deuxième groupe et en dernière position le SD avec une moyenne de 30,34 cm/h en troisième groupe (**Tableau 10**).

Ces résultats concordent avec quelques travaux et se mettent en contradiction avec d'autres, comparé à un sol travaillé, la vitesse d'infiltration de l'eau dans un sol en semis direct peut augmenter (**Miller et al., 1998 ; Arshad et al., 1999**), être similaire (**Blanco-Canqui et al., 2004 ; Fuentes et al., 2004**) ou diminuer (**Ferreras et al., 2000 ; Lampurlanés et Cantero-Martínez, 2006**). **Kerouli et Ait Ouali (2010)**, ont trouvé les mêmes résultats sur le même site en sa deuxième année.

En région semi aride, **Bouzzara et Ould Ferroukh (2010)**, ont trouvé les mêmes résultats où le semis direct présente une faible valeur de vitesse d'infiltration par contre le travail conventionnel présente une valeur plus élevée. Nos résultats peuvent être expliqués selon **Lin et al. (1999)** et **Coquet et al. (2005)** par le fait qu'il ya des macropores qui sont créés juste après le labour ce qui améliore temporairement la vitesse d'infiltration de l'eau.

Tableau 09. Carré moyen de l'analyse de la variance de la perméabilité.

Source de variation	ddl	perméabilité
Tvx	2	353,26*
Cltrs	2	489,51**
Tvs*cltrs	4	1635,92***
erreur	18	68,67
CV%		22,61

*, **, ***, effet significatif, hautement significatif, très hautement significatif au seuil de 5 %.

Les résultats obtenus concernant la vitesse d'infiltration confirment notre description des profils culturaux notamment les observations relatives à une compacité plus élevée en semis direct par rapport au conventionnel.

Concernant l'étude des valeurs moyennes de la perméabilité des différentes cultures, deux groupes se distinguent, le premier groupe est constitué par l'association de pois orge qui affiche la moyenne la plus élevée 44,42 cm/h suivie par la culture de blé attribuée d'une moyenne de 39,13 cm/h et en dernière position la culture de lentille qui présente une moyenne de 28,34 cm/h constituant le deuxième groupe (**Tableau 10**).

Tableau 10. Valeurs moyenne de la perméabilité.

Traitements	perméabilité
SD	30,34 ^b
TCS	36,68 ^{ab}
TC	42,87 ^a
Moyenne générale	36,63
Traitements	perméabilité
Blé	39,13 ^a
Lentille	28,34 ^b
Pois-orge	42,44 ^a
Moyenne générale	36,63

Moyennes suivies par la même lettre ne son pas significativement différentes au seuil de 5 %

II. Etude des paramètres liés au végétal

1. Etude de l'effet des différents modes de conduites culturales sur les caractères mesurés chez le blé dur.

1.1. Le rendement et ses composantes

▪ Le nombre de plantes levés par unité de surface (Plt/m²)

L'influence du travail du sol SD, TCS, TC sur l'installation de culture de blé dur présente un effet significatif pour le nombre de plantes compté à la levée (**Tableau 11**). L'analyse des moyennes permet de distinguer deux groupes homogènes, le premier est constitué par le SD et les TCS et le deuxième est formé uniquement par le TC (**Tableau 12**), les techniques de conservation du sol (SD, TCS) présentent un pouvoir de levée plus important que celui des techniques conventionnelles (TC). Les techniques (SD, TCS) détiennent la première place avec une moyenne de 300.61 Plt/m² et 297,06 Plt/m² pour respectivement les TCS et le SD, contre 254,9 Plt/m² pour le TC. Les mêmes résultats sont observés par **Kerounli et Aït Ouali** en 2010 sur le même site en sa deuxième année en culture de blé tendre. L'avantage des techniques conservatrices (SD, TCS) est lié principalement à la bonne maîtrise de la profondeur de semis et au bon contact grain-sol.

▪ Le poids de mille grains (Pmg)

L'analyse de la variance de poids de mille grains présente un effet significatif pour le type du travail du sol (**Tableau 11**) où deux groupes homogènes sont formés, le premier est représenté par le TC et les TCS et le deuxième est représenté par le SD (**Tableau 12**). Le TC et les TCS s'élèvent avec des moyennes de 58.2 et 56.76 gr respectivement alors que le SD ayant la moyenne la plus faible 51.58 gr (**Tableau 12**).

▪ La hauteur des plantes mesurées à maturité (Ht).

L'analyse de la variance montre un effet travail du sol significatif (**Tableau 11**), le TC détient la première place en formant à lui seul le premier groupe avec une moyenne de 67,21 cm, et le deuxième groupe est constitué par le SD et les TCS avec les moyennes respectives de 62,64 et 61,84 cm (**Tableau 12**).

▪ Le rendement biologique (Rdtb)

Le travail du sol a engendré un effet hautement significatif sur le rendement biologique (**Tableau 11**). L'analyse des moyennes a montré une différence réelle entre deux groupes. Le TC et les TCS constituent le premier groupe avec une moyenne de 63,90 et 64,93 Qx/ha respectivement et le deuxième groupe est formé par le SD avec une moyenne de 34.22 Qx/ha (**Tableau 12**).

Tableau 11. Carré moyen de l'analyse de la variance des caractères mesurés chez la culture de blé dur.

Sources de variation	ddl	Plt/m ²	Ne/m ²	Ng/E	Pmg
Tvx	2	1939,82*	17424,58 ^{ns}	9,68 ^{ns}	36,82*
Erreur	6	296,10	103819,04	3,54	3,77
CV%		6,05	30,99	5,81	3,50
		Ht	Rdtb	Rdtm	
Tvx	2	25,22*	912,22**	11,05**	
Erreur	6	4,54	26,81	0,40	
CV%		3,33	9,52	3,77	

ns, *, **, effet non significatif, significatif, hautement significatif, au seuil de 5 %.

Tableau 12. Valeurs moyennes des caractères mesurés chez la culture de blé dur

Traitements	Plt/m ²	Pmg	Rdt _b	Rdt _m	Ht
SD	297,06 ^a	51,58 ^b	34,22 ^b	16,78 ^b	62,64 ^b
TCS	300,61 ^a	56,76 ^a	64,93 ^a	15,06 ^c	61,84 ^b
TC	254,90 ^b	58,20 ^a	63,90 ^a	18,89 ^a	67,21 ^a
MG	284,19	55,53	54,35	16,91	63,89

Moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.

▪ **Le rendement machine (Rdt_m)**

L'analyse de la variance du rendement machine montre des différences hautement significatives entre les différents modes du travail du sol employés (**Tableau 11**). L'étude des moyennes indiquent des différences supérieures à la plus petite différence significative (Ppds), formant ainsi trois groupes statistiques distincts. Le système conventionnel est leader avec une valeur de 18,89 Qx/ha, suivi du semis direct (16,78 Qx/ha), et en dernière position les techniques simplifiées (TCS) avec une moyenne de 15,06 Qx/ha (**Tableau 12**).

▪ **Le nombre d'épis par unité de surface (Ne) et le nombre de grains par épi (Ng/E)**

Pour ces deux variables l'analyse de la variance ne montre aucun effet significatif concernant l'effet du travail du sol (**Tableau 11**).

1.2. La cinétique d'accumulation de la matière sèche

L'analyse de la variance ne montre aucun effet travail du sol sur la biomasse de la culture de blé dur pour les différentes dates et aucun effet aussi n'est montré pour les organes (feuilles, tiges, épis) (**Tableau 13**).

Tableau 13. Carré moyen de l'analyse de la variance de la biomasse aérienne accumulée au cours du cycle de la culture de blé dur et sa répartition entre feuilles, tiges, épis.

Source de variation	ddl	135JAS	141JAS	190JAS
Tvx	2	21662,92 ^{ns}	1382,28 ^{ns}	24113,60 ^{ns}
Erreur	6	28018,08	21677,01	24303,54
CV%		15,28	32,69	34,5
<u>190JAS</u>				
		Feuilles	Tiges	Epis
Tvx		430,33 ^{ns}	13005,06 ^{ns}	421,37 ^{ns}
Erreur		452,88	12941,15	488,17
CV%		37,09	34,89	32,40

ns, effet non significatif au seuil de 5 %.

D'une manière générale, on observe une supériorité de l'effet de travail conventionnel vis-à-vis de la biomasse pour toutes les dates suivi par les TCS et en dernier position le SD (**Figure 17**), aussi pour les organes (tiges, épis), mais pour les feuilles les TCS présente un avantage contre le TC et le SD.

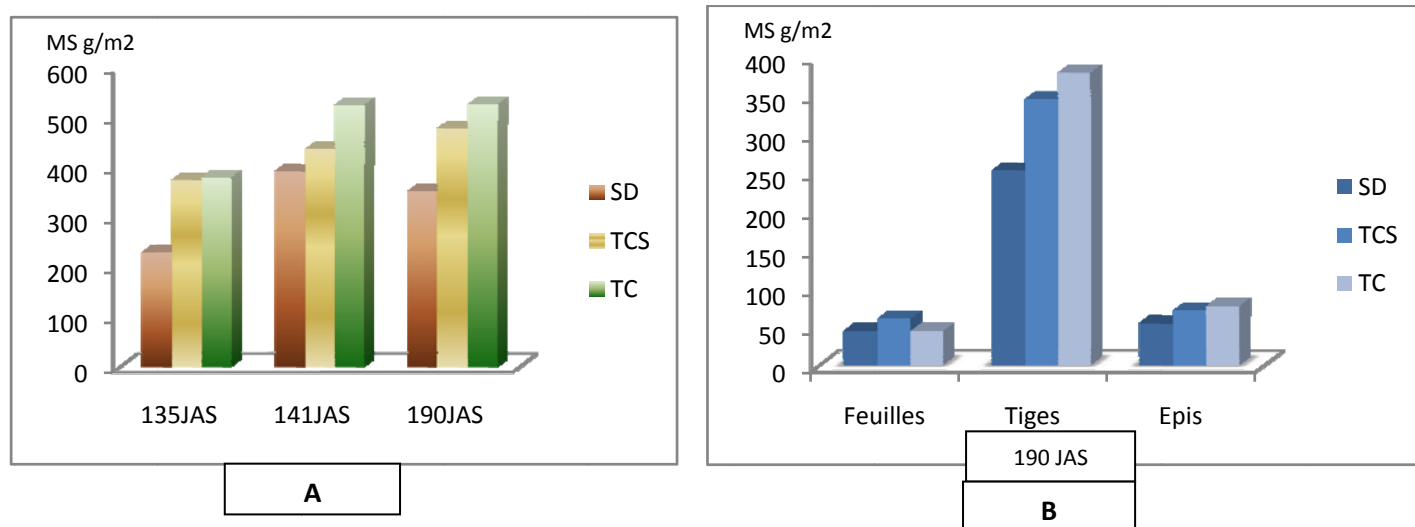


Figure 17. Variation de la matière sèche total au cours du cycle de blé **(A)** et dans les organes (feuilles, tiges, épis) **(B)** sous l'effet du travail du sol.

1.3. Etude des liaisons entre paires de caractères chez la culture de blé.

L'étude des relations entre des différentes variables mesurées indique que la hauteur est positivement corrélée avec le nombre de grains par épi. Ceci suggère que les plantes ayant une hauteur élevée présente une fertilité épi plus élevée (**Tableau 14**). Le nombre de plantes par m² est positivement corrélé avec le rendement machine ce qui explique qu'une densité optimale favorise un bon rendement (**Tableau 14**). L'autre corrélation qui apparait significative est celle entre le rendement biologique et le poids de mille grains. Ceci suggère que les traitements ayant des plantes bien développées (vigoureuses) nourrissent bien leurs grains (**Tableau 14**).

Tableau 14. Coefficients de corrélation entre les variables mesurées.

	NE	Rdtb	Rdtm	Ht	NGE	Plt/m ²	Pmg
NE	1.000						
Rdtb	-0.130	1.000					
	0.737						
Rdtm	0.261	0.015	1.000				
	0.488	0.960					
Ht	0.237	0.322	0.643	1.000			
	0.536	0.388	0.061				
NGE	0.222	0.156	0.6362	0.704	1.000		
	0.561	0.683	0.065	0.034			
Plt/m ²	0.332	-0.259	0.671	-0.487	-0.635	1.000	
	0.382	0.501	0.047	0.182	0.066		
Pmg	-0.166	0.752	0.316	0.130	0.106	-0.535	1.000
	0.666	0.019	0.407	0.738	0.784	0.137	

NE : Nombre d'épis. Rdtb : Rendement biologique. Rdtm : Rendement machine. Ht : Hauteur à maturité. NGE : Nombre de grains par épi.

Plt/m² : Nombre de plantes par mètre carré. Pmg : Poids de mille grains.

Au dessus : le coefficient de corrélation. Au dessous : la probabilité.

2. Etude de l'effet des différents modes de conduites culturales sur les caractères mesurés chez la culture de lentille

2.1. Le rendement et ses composantes

- Le nombre de plants levés par unité de surface (plt/m²), le nombre de grains par gousse (NGG) et Le poids de mille grains(Pmg)

L'analyse de la variance présente un effet très hautement significatif pour le nombre de plants/m² et ne présente aucun effet pour le nombre de grains par gousse (NGG) et le poids de mille grains (Pmg) (**Tableau 15**).

Tableau 15. Carré moyen de l'analyse de variance les caractères mesurés chez la culture de lentille.

Source de variation	ddl	Plt/m ²	NGG	Pmg	Rdt _b	Rdt _m	Ht
Tvx	2	837.14***	0.089 ^{ns}	0.49 ^{ns}	16.40 ^{ns}	7.32**	1.10 ^{ns}
Résiduelle	6	27.55	0.018	1.41	7.05	0.54	0.24
CV%		2.25	8.82	2.74	9.07	6.47	1.66

ns, **, ***, effet non significatif, hautement significatif, très hautement significatif au seuil de 5 %.

L'étude des moyennes permet de distinguer deux groupes statistiques pour le nombre de plants par unité de surface. Le TC constitue le premier groupe avec une moyenne de 251,96 plts/m², et le deuxième groupe est formé par le SD et les TCS avec les moyennes respectives de 223,53 plts/m² et 222,54 plts/m² (**Tableau 16**).

Tableau 16. Valeurs moyennes des variables nombre de plants par m² (Plts/m) et rendement machine (Rdt_m).

Traitements	Plts/m ²	Rdt _m
SD	223.53 ^b	9.70 ^b
TCS	222.54 ^b	12.78 ^a
TC	251.96 ^a	11.70 ^a
MG	232.58	11.39

Moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.

- **Le rendement machine (Rdt_m), le rendement biologique (Rdt_b), la hauteur des plantes à maturité (Ht).**

L'analyse de la variance ne présente aucun effet travail du sol significatif pour les variables Rdt_b et Ht et présente un effet significatif pour le rendement machine (**Tableau, 15**). Après l'étude des moyennes du rendement machine, deux groupes sont formés, le premier groupe est constitué par les TCS en première position suivi par le TC avec des moyennes respectives de 12,65 et 11,70 Qx/ha, et le deuxième est constitué par le SD qui indique une moyenne de 9,70 Qx/ha (**Tableau16**).

2.2. La cinétique d'accumulation de la matière sèche

L'analyse de la variance ne montre aucun effet travail du sol significatif pour les différentes dates étudiées (**Tableau 17**).

Tableau 17. Carré moyen de l'analyse de variance de la matière sèche totale à différentes date.

source de variation	ddl	137JAS	143JAS	192JAS
Tvx	2	199,86 ^{ns}	147,63 ^{ns}	5298,05 ^{ns}
Erreur	6	1768,27	1877,82	16658,11
CV %		18,01	16,45	27,07

ns, effet non significatif, au seuil de 5 %.

La figure **18** montre que le SD est le leader pour toutes les dates sauf pour la date (143 JAS) où il s'égalise avec les TCS. L'évolution de la matière sèche est positive en fonction du temps.

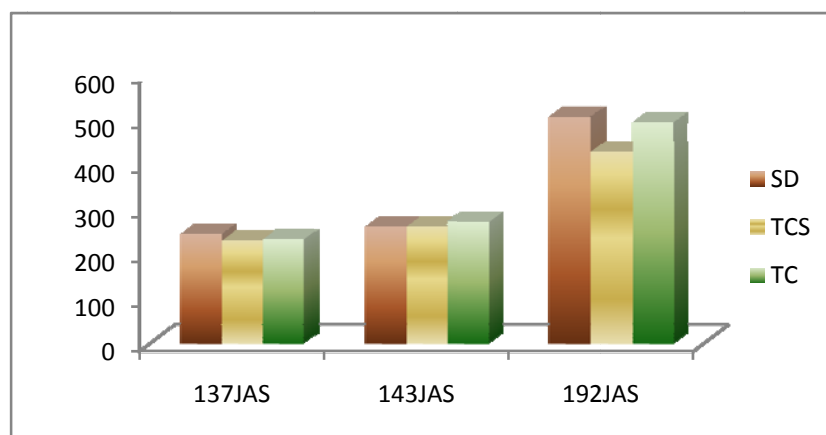


Figure 18. Variation de la matière sèche totale pendant le cycle de la culture sous l'effet du travail du sol.

2.3. Etude des liaisons entre paires de caractères chez la culture de lentille.

L'étude des relations entre des différentes variables mesurées indique que la hauteur est corrélée négativement avec le rendement biologique (**Tableau 18**). Ceci signifie que les traitements caractérisés par des plantes à hauteur faible participent significativement à la production du rendement biologique. Le nombre de grains par gousse est positivement corrélé avec le rendement machine (**Tableau 18**). Ceci suggère que les traitements qui produisent beaucoup de grains par gousse favorisent un rendement machine élevé. Il apparait aussi que la hauteur des plantes est positivement corrélée avec le nombre de plantes par m². Ceci suggère que les traitements ayant des densités élevées donnent des plantes à hauteur élevée.

Tableau 18. Coefficients de corrélation entre les variables mesurées.

	NG	Rdtb	Rdtm	Ht	NGE	Plt/m ²	Pmg
NG	1,000						
Rdtb	0,287 0,453	1,000					
Rdtm	-0,547 0,127	-0,366 0,332	1,000				
Ht	0,094 0,808	-0,678 0,044	0,059 0,878	1,000			
NGG	-0,623 0,073	-0,187 0,629	0,767 0,015	-0,343 0,365	1,000		
Plt/m ²	0,094 0,808	-0,636 0,065	0,070 0,857	0,834 0,005	-0,394 0,294	1,000	
Pmg	0,020 0,959	0,273 0,476	0,271 0,480	-0,209 0,589	-0,113 0,771	-0,092 0,812	1,000

NG : Nombre de grains. Rdt : Rendement biologique. Rdtm : Rendement machine. Ht : Hauteur à maturité.

NGG : Nombre de grains par gousse. Plt/m² : Nombre de plantes par metre carré. Pmg : Poids de mille grains.

Au dessus : le coefficient de corrélation. Au dessous : la probabilité

3. Etude de l'effet des différents modes de conduites culturales sur les caractères mesurés chez l'association

3.1. Le rendement et ses composantes

L'analyse de la variance ne révèle aucun effet significatif pour le type de travail du sol sur l'ensemble des variables mesurées ; nombre de plants/m², hauteur d'orge (hto), hauteur de pois (hpo) et rendement biologique (Rdt_b) (**Tableau 19**).

Tableau 19. Carré moyen de l'analyse de variance des caractères mesurés chez l'association pois-orge.

Source de variation	Ddl	Plants/m ²	HtP	HtO	Rdt _b
Tvx	2	355,4 ^{ns}	147,27 ^{ns}	32,14 ^{ns}	1641,86 ^{ns}
Résiduelle	6	151,65	57,96	39,39	754,60
CV%		6,23	11,18	20,80	8,23

ns, effet non significatif, au seuil de 5 %.

3.2. La cinétique d'accumulation de la matière sèche

L'analyse de la variance ne montre aucun effet travail du sol significatif pour la matière sèche pour les différentes dates étudiées (**Tableau 20**).

Tableau 20. Carré moyen de l'analyse de variance de la matière sèche totale à différentes dates.

source de variation	ddl	135JAS	141JAS	190JAS
Tvx	2	51459,70 ^{ns}	8226,37 ^{ns}	56458,22 ^{ns}
Erreur	6	106726,47	145832,72	75300,63
CV %		33,66	34,18	25,32

ns, effet non significatif, au seuil de 5 %.

Les moyennes générales (**Figure 19**) montre un avantage du TC pour toutes les dates. elles présentent 1096.9, 1305.6, 1203.1 g/m² pour les dates 1, 2, 3 respectivement suivi, par le SD pour la première date et les TCS pour la deuxième et la troisième date. le SD présente un avantage par rapport aux TCS à la première date, cependant pour la deuxième et la troisième dates les TCS donnent plus de matière sèche totale par rapport au SD.

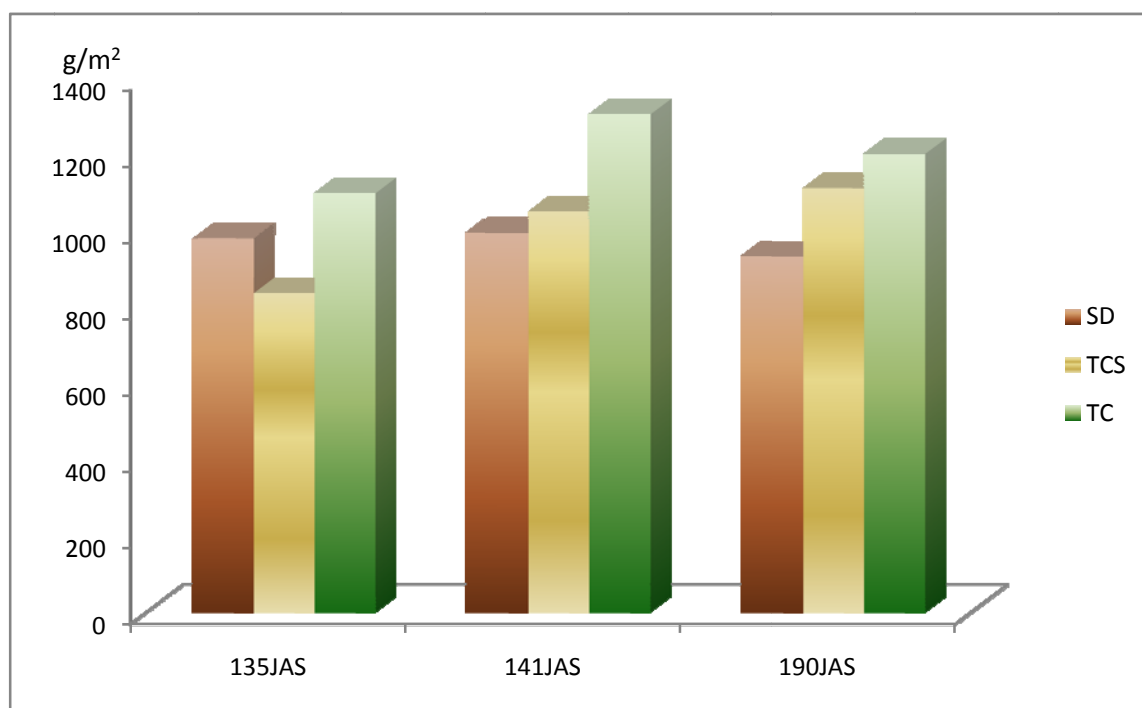


Figure 19. Variation de la matière sèche totale sous l'effet du travail du sol.

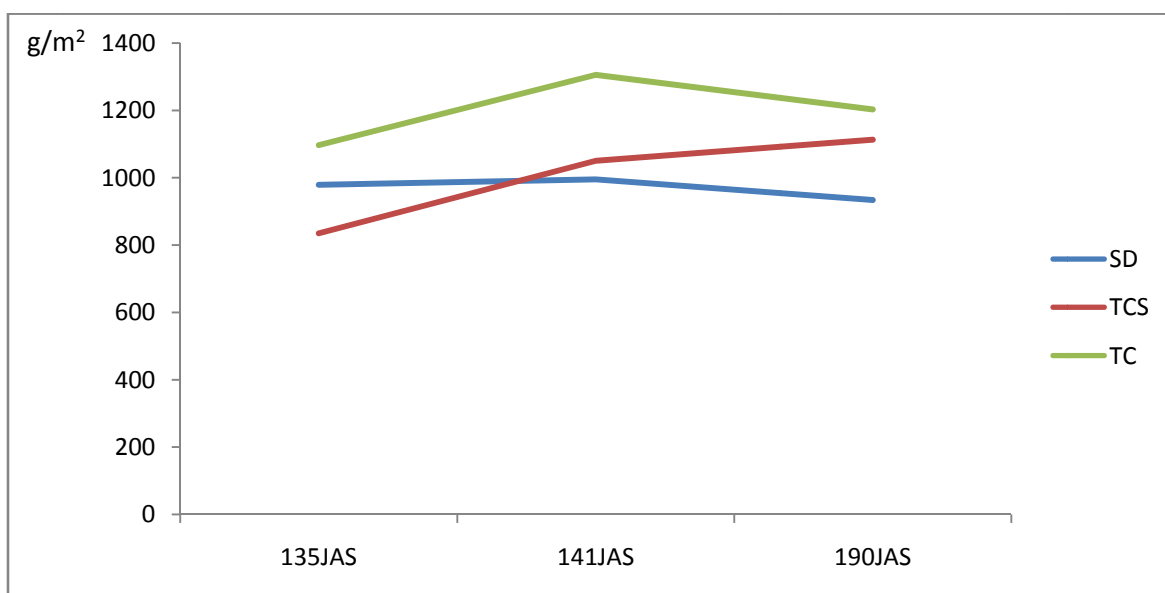


Figure 20: Evolution de la matière sèche au cours du cycle de la culture sous l'effet du travail du sol.

3.3. Etude des liaisons entre paires de caractères chez l'association pois-orge

L'étude des relations entre les différentes variables mesurées indique que la hauteur de l'orge dans l'association est négativement corrélée avec le nombre de plants par m². Pour les autres variables aucune corrélation significative (**Tableau 21**).

Tableau 21. Coefficients de corrélation entre les variables mesurées.

	Plt/m ²	HtP	HtO	Rdtb
Plt/m ²	1,000			
HtP	0,378	1,000		
	0,314			
HtO	-0,708	-0,517	1,000	
	0,032	0,153		
Rdtb	-0,389	0,111	0,293	1,000
	0,300	0,774	0,443	

Plt/m² : Nombre de plantes par mètre carré. Rdtm : Rendement machine.

HtP : Hauteur de pois. HtO : Hauteur de l'orge.

Au dessus : le coefficient de corrélation. Au dessous : la probabilité.

III. Les mauvaises herbes

1. Les plantes adventices inventoriées

L'inventaire des espèces adventices a permis de recenser 18 espèces au cours de la campagne d'étude (**Tableau 22**).

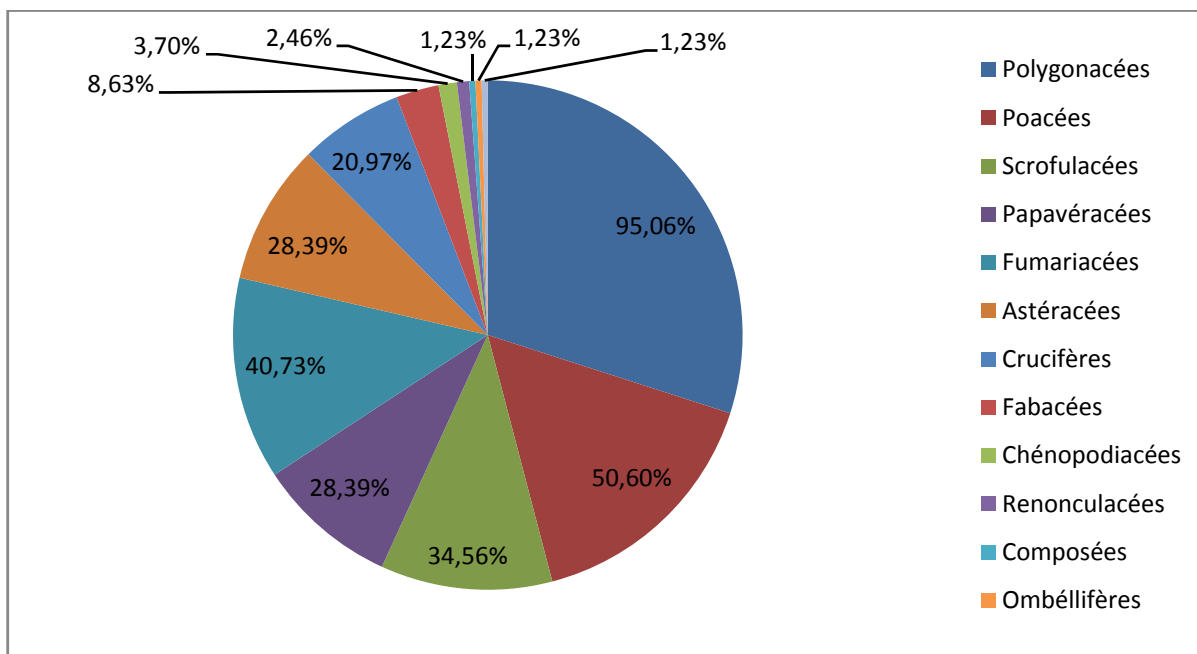
Tableau 22 : Les adventices présents dans le site expérimental au cours de la campagne d'étude.

Famille	Nom français	Nom scientifique
Poacées	Brome Ray gras	<i>Bromus sp</i> <i>Lolium multiflorum lamk</i>
Astéracées	Laiteron Chardon	<i>Sonchus arvensis L.</i> <i>Cirsium arvensis L.</i>
Fumariacées	Fumeterre foncée Fumeterre claire	<i>Fumaria densiflora</i> <i>Fumaria officinalis L.</i>
Fabacées	Scorpiure Luzernz bardane	<i>Scorpiurus murgatus</i> <i>Medicago hispida</i>
Crucifères	Fausse roquette Moutard des champs	<i>Diplotaxis eruroides (L.) D.C</i> <i>Sinapis arvensis L.</i>
Polygonacées	Renouée des oiseaux	<i>Polygonum aviculare L.</i>
Scrofulacées	Véronique à feuilles de lierre	<i>Veronica hederifolia L.</i>
Chénopodiacées	Résida blanche	<i>Resuda alba</i>
Papavéracées	Coquelicot	<i>Papaver rhoeas L.</i>
Composées	Souci des champs	<i>Calendula arvensis L.</i>
Ombellifères	Carotte sauvage	<i>Daucus carota L.</i>
Renonculacées	Adonis annuel	<i>Adonis annua L.</i>
Liliacées	Ornithogale	<i>Ornithogalum narbonense L.</i>

Les dicotylédones sont représentées par 10 familles, 13 espèces et 12 genres contre 3 familles, 5 genres et 5 espèces pour les monocotylédones. Ainsi les dicotylédones contribuent à 70,60 % pour les genres et 72,23 % pour les espèces contre 29,4 % pour les genre et 27,77 % pour les espèces concernant les monocotylédones (**Tableau 23**).

Tableau 23. La contribution des mono et dicotylédones dans les adventices recensés.

	familles botanique	Nbre de genres	Contribution %	Nbre des espèces	Contribution %
Monocotylédones	Poacées	2	11,76	2	11,11
	Liliacées	1	5,88	1	5,55
		3	17,64	3	16,66
Dicotylédones	Astéracées	2	11,76	2	11,11
	Chénopodiacées	1	5,88	1	5,55
	Composées	1	5,88	1	5,55
	Crucifères	2	11,76	2	11,11
	Fumariacées	1	5,88	2	11,11
	Fabacées	2	11,76	2	11,11
	Ombellifères	1	5,88	1	5,55
	Papavéracées	1	5,88	1	5,55
	Polygonacées	1	5,88	1	5,55
	Renonculacées	1	5,88	1	5,55
	Scrofulacées	1	5,88	1	5,55
		14	82,36	15	83,34
Total		17	100 %	18	100 %


Figure 21. Les fréquences des familles d'adventices recensées au cours de campagne d'étude.

Au cours cette étude les familles les plus fréquentes sont les Polygonacées qui présentent la fréquence la plus élevée 95,06 % suivies par la famille des Poacées qui accumulent une fréquence de 50,60 % et vient en suite la famille de Fumariacées avec une fréquence de 40,73 % et puis la famille de Scrofulacées 34,56 %.

La famille des fabacées et des papavéracées chacune présentent une fréquence de 28,39 %, la fréquence de la famille des crucifères sa fréquence est de 20,97 %. Les autres familles présentent des fréquences très faibles (**Figure 21**).

Les espèces les plus fréquentes par ordre décroissant sont : *Polygonum aviculare* L, *Bromus* sp, *Veronica hederifolia* L, *Papaver rhoeas* L, *Fumaria densiflora* (**Tableau 24**).

Tableau 24. Classe de fréquence et fréquence des espèces d'adventices recensées.

Classe de fréquence	Espèces	Famille	Fréquence %
5 (60 à 80 %)	<i>Polygonum aviculare</i> L.	Polygonacées	95,06
4 (40 à 60 %)	<i>Bromus</i> sp	Poacées	48,14
3 (20 à 40 %)	<i>Veronica hederifolia</i> L.	Scrofulacées	34,56
	<i>Papaver rhoeas</i> L.	Papavéracées	28,39
	<i>Fumaria densiflora</i>	Fumariacées	24,69
2 (< 20 %)	<i>Sonchus arvensis</i> L.	Astéracées	19,75
	<i>Diplotaxis érucoïdes</i> (L.) D.C	Crucifères	18,51
	<i>Fumaria officinalis</i> L.	Fumariacées	16,04
	<i>Cirsium arvensis</i> L.	Astéracées	8,64
	<i>Medicago Hispida</i>	Fabacées	4,93
	<i>Scorpiurus murgatus</i>	Fabacées	3,7
	<i>Resida alba</i>	Chénopodiacées	3,7
	<i>Sinapis arvensis</i> L.	Crucifères	2,46
	<i>Lolium multiflorum</i> lamk	Poacées	2,46
	<i>Adonis annua</i> L.	Renonculacées	2,46
	<i>Calendula arvensis</i> L.	Composées	1,23
	<i>Daucus carota</i> L.	Ombellifères	1,23
	<i>Ornitogalum narbonense</i> L.	Liliacées	1,23

On remarque que la plupart des espèces ont des fréquences moins de 20% et seulement 5 espèces qui dominant et présentent des fréquences qui dépasse 20 %, *Polygonum aviculare* L est présent presque dans tous les relevés (95,06 %) (**Tableau 24**).

2. Effet des techniques culturales sur la densité de peuplement d'adventices levées

L'analyse de la variance montre un effet travail du sol très hautement significatif sur les adventices monocotylédones, hautement significatif sur le nombre total des adventices et significatif sur les dicotylédones, et montre un effet type de culture hautement significatif sur les adventices dicotylédones et le nombre total des adventices. Pour l'effet de l'interaction du travail du sol et de la culture montre un effet significatif sur les adventices monocotylédones et le nombre total des adventices (**Tableau 25**).

Tableau 25. Carré moyen de l'analyse de la variance du peuplement d'adventices levées.

Source de variation	ddl	Monocotylédones	Dicotylédones	total
Tvx	2	1574,32***	108,80*	994,01**
Cltrs	2	153,18 ^{ns}	258,48**	784,26**
Tvx*Cltrs	4	365,96*	31,97 ^{ns}	314,63*
erreur	18	91,07	31,32	102,35
CV%		85,93	47,97	43,62

ns, *, **, ***, effet non significatif, hautement significatif, très hautement significatif au seuil de 5 %.

La comparaison des moyennes du nombre total d'adventices par mètre carré entre les trois modes de travail du sol nous donne deux groupes homogènes distincts et une moyenne générale de 23,18 plt/m². La densité la plus élevée est observée chez le semis direct (34,96 plt/m²) qui représente le premier groupe, la plus faible est observée au niveau du travail conventionnel (14,75 plt/m²) et en position intermédiaire se trouve les TCS avec une moyenne de 19,84 plt/m² (**Tableau 26**). **Rahali A, et al., (2010)** ont obtenu des résultats plus ou moins similaires : le nombre total des adventices le plus faible est observé chez le TC, le plus élevé observé chez les TCS et le SD se trouve en position intermédiaire.

Concernant les adventices monocotylédones (**Tableau 26**), la densité la plus élevée est notée chez le semis direct avec une moyenne de 26,12 plt/m² en constituant ainsi le premier groupe. Les TCS et le TC forment le deuxième groupe avec des moyennes respectives de 4,28, 2,30 plt/m².

Pour les adventices dicotylédones (**Tableau 26**), trois groupes homogènes distincts qui se forment, dont le premier groupe est représentée par les TCS affichant une moyenne de 15,96 plt/m² suivi par le TC qui indique une moyenne de 12,33 plt/m² et en dernière position le SD qui affiche

une moyenne de 8,61 plt/m² (**Figure 22**). Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par **Rahali A et al., (2010)**.

Selon **Debaeke et Orlando (1994)**, les levées de graminées annuelles ont tendance à augmenter avec la simplification du travail du sol, par contre les levées des dicotylédones annuelles diminuent avec la simplification du travail du sol. La conséquence principale du travail du sol est la remontée en surface des semences enfouies par des travaux antérieurs (**Jauzein, 1986**).

Tableau 26. Valeurs moyennes des adventices mono et dicotylédones.

	Monocotylédones	Dicotylédones	Total
Traitements			
SD	26,12 ^a	8,61 ^b	34,96 ^a
TCS	4,28 ^b	15,56 ^a	19,84 ^b
TC	2,30 ^b	12,33 ^{ab}	14,75 ^b
MG	10,90	12,16	23,18
Traitements			
	Dicotylédones	Total	
blé	18,32 ^a	33,96 ^a	
lentille	8,53 ^b	17,63 ^b	
pois-orge	9,66 ^b	17,96 ^b	
MG	12,17	23,18	

Moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.

On observe une dominance totale des monocotylédones et le nombre d'adventices total pour les parcelles de semis direct contre une dominance des adventices dicotylédones dans les parcelles des travaux culturaux simplifiés et le travail conventionnel.

Concernant le facteur type de culture, l'étude des moyennes permet de distinguer deux groupes homogènes distincts vis-à-vis du nombre total d'adventices (**Tableau 26**). La culture de blé est la plus envahie par une moyenne de 33,96 plt/m², elle s'individualise dans le premier groupe suivie par la culture de lentille et l'association pois-orge avec les moyennes respectives de 17,96 plt/m² et 17,63 plt/m² (**Figure 23**).

Concernant les adventices dicotylédones, la culture de blé qui occupe la première position affichant une moyenne 18,32 plt/m² des adventices dicotylédones suivie par l'association pois-orge, qui présente une moyenne de 9,66 plt/m², et la culture de lentille qui affiche une moyenne de 8,53 plt/m², l'association pois-orge et la culture de blé forment le deuxième groupe (**Figure 23**).

Ces résultats peuvent être expliqués par l'effet des précédents cultureux, les précédents de la culture de blé sont blé/blé (monoculture) par contre les autres soles sont occupées par des cultures diversifiées.

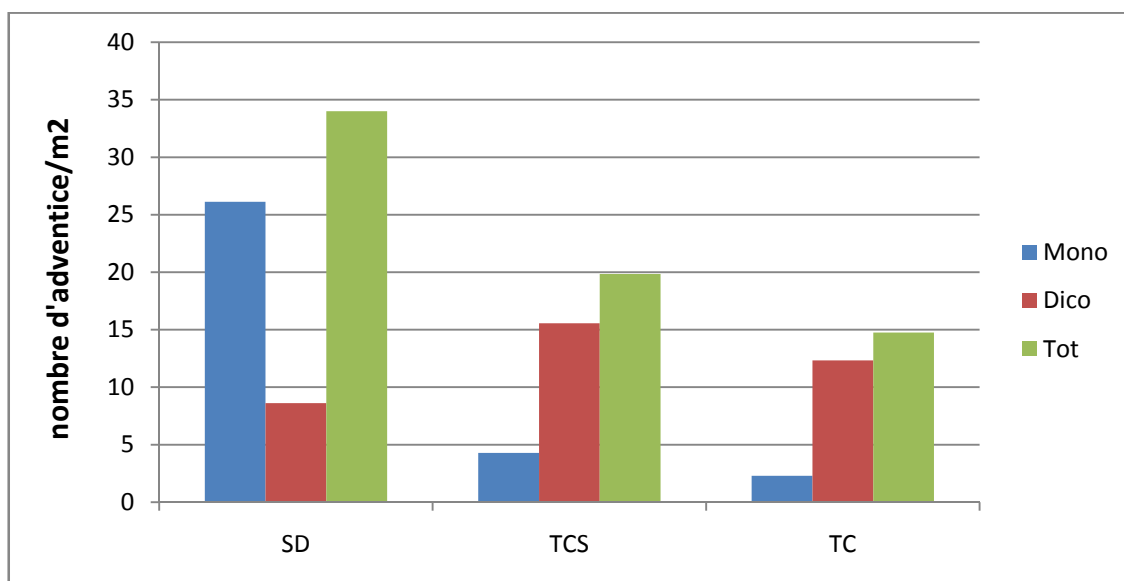


Figure 22. Comparaison du nombre d'adventices compté au m² des monocotylédones, dicotylédones et le nombre total des adventices sous l'effet de mode de travail du sol.

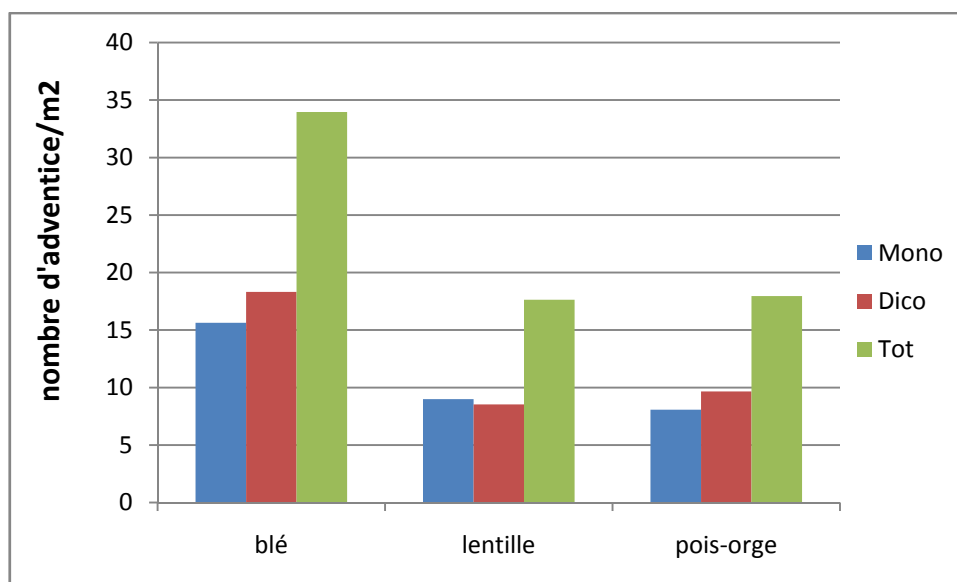


Figure 23. Nombre d'adventices compté au m² des monocotylédones, dicotylédones et le total en fonction de type de culture.

3. Effet es pratiques culturales sur la biomasse des adventices

L'analyse de la variance indique une différence hautement significative pour le type de travail du sol et très hautement significative pour le type de culture (**Tableau 27**).

Tableau 27. Carré moyen de l'analyse de la variance de la biomasse des adventices.

Source de variation	ddl	Biomasse des adventices
Tvx	2	9060,95**
Cltrs	1	19106,86***
Tvx*Cltrs	2	998,93 ^{ns}
Erreur	12	94,58
CV%		40,17

ns, **, ***, effet non significatif, hautement significatif, très hautement significatif au seuil de 5 %.

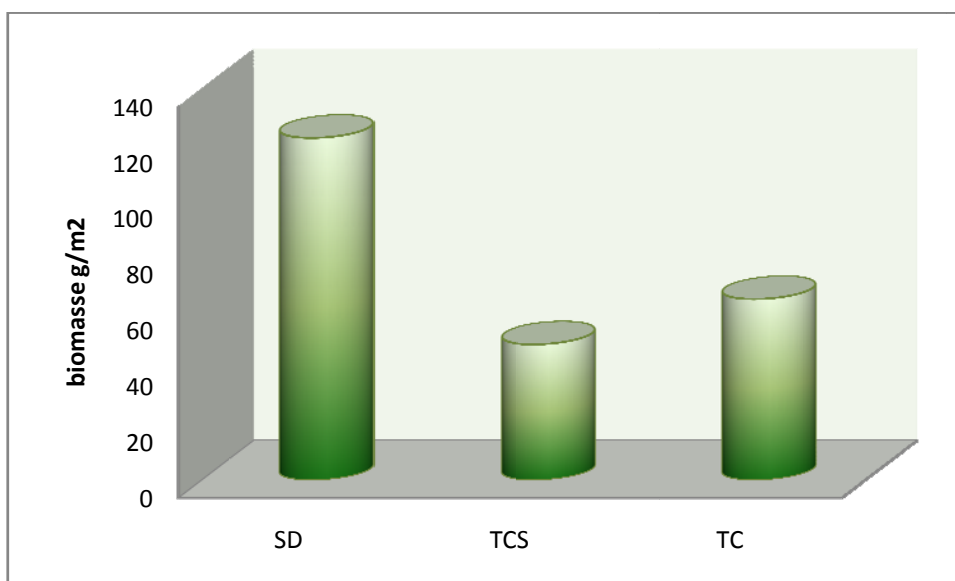
L'étude des moyennes nous permet de distinguer deux groupes homogènes distincts (**Tableau 28**). Pour le travail du sol c'est le SD qui domine par une moyenne de 122,55 g/m² en formant le premier groupe, suivi par le TC et les TCS qui affichent les moyennes respectives de 64,84 et 48,61 g/m² (**Figure 24**).

Concernant le type de culture, la culture de blé et de lentille se distinguent dans deux groupes différents dont le premier groupe est représenté par la culture de lentille, qui affiche une moyenne de 111,25 g/m², et la culture de blé qui forme le deuxième groupe faisant une moyenne de 46,09 g/m² (**Tableau 28**).

Tableau 28. Valeurs moyennes de la biomasse des adventices.

Biomasse des adventices	
Traitements	
SD	122.55 ^a
TCS	48.61 ^b
TC	64.84 ^b
MG	78.66
Traitements	
blé	46.09 ^b
lentille	111.25 ^a
MG	78.67

Moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.


Figure 24. L'effet du travail du sol sur la biomasse des adventices au mètre carré.

Synthèse

Après trois années d'application des techniques conservatrices (SD, TCS) qui se caractérisent par un non labour (SD) et un minimum de perturbation du sol (TCS), il s'avère qu'elles n'engendrent pas de changements visuels remarquables quant aux caractéristiques physiques des horizons. Cependant il est intéressant d'indiquer que ces techniques, surtout le semis direct, se distinguent par une compacité plus élevée que le travail conventionnel. L'augmentation de la compacité en semis direct est due au fait que le non travail du sol permet de stabiliser le sol contrairement au travail conventionnel qui le perturbe continuellement.

Les techniques conservatrices maintiennent un niveau organique plus élevé qu'en travail conventionnel, ce fait est dû à l'aération exagérée provoquée par le labour et plus ou moins évitée par les techniques conservatrices. L'augmentation du taux du carbone total en semis direct permettrait d'améliorer les autres propriétés du sol (physiques, chimiques et biologiques). Les différentes successions culturales étudiées n'engendrent pas de variation du taux du carbone dans le sol.

Aussi à partir de nos résultats le semis direct présente un avantage quant au niveau du phosphore dans le sol alors que les TCS améliorent le potassium. La succession des cultures lentille /fourrage /lentille améliore le niveau du phosphore dans le sol alors que la succession blé / blé / blé améliore le niveau du potassium.

En matière de conservation de l'eau, le SD et les TCS présentent un avantage au niveau de 0-20 cm comparés au TC. L'avantage de la conservation de l'humidité, permis par les techniques conservatrices, est dû peut être aux résidus laissés à la surface du sol.

Le semis direct augmente sensiblement la densité apparente du sol suivi par les TCS et en dernière position le TC. À l'inverse, le TC présente la plus grande vitesse d'infiltration suivi par les TCS et en dernière position le SD. Donc la porosité dans le semis direct est faible comparativement au travail conventionnel qui présente une porosité temporairement élevée, au début de cycle cultural. Cet avantage est dû au retournement du sol, mais à la fin du cycle cultural, la porosité du travail conventionnel est sensiblement diminuée, alors que celle des techniques conservatrices est légèrement améliorée. La variation dans le temps de la densité apparente est due principalement à l'effet des précipitations qui tassent le sol surtout en travail conventionnel.

Concernant l'effet du travail du sol sur la végétation et d'après les résultats obtenus, il s'avère que la levée de la culture de blé est favorisée par le SD suivi par les TCS alors que le PMG et le rendement biologique sont mieux obtenus sous le TC suivi par les TCS. La hauteur de la plante est aussi mieux développée sous le TC.

Pour la culture de lentille, le TC favorise la meilleure levée (suivi par le SD) et donne le rendement biologique le plus élevé (suivi par les TCS). En ce qui concerne l'association de pois-orge aucune différence n'a été obtenue sous l'effet de trois types du travail du sol.

Les résultats de la présente étude montrent que les adventices monocotylédones sont étroitement liés à la pratique de semis direct alors que les dicotylédones sont attribuées aux TCS et ensuite au TC. Pour le nombre total des adventices, le SD apparaît le plus envahi. Concernant le comportement des adventices vis à vis aux successions de cultures, la succession blé / blé / blé est la plus envahie et surtout par les dicotylédones. L'absence du travail du sol en semis direct favorise le développement des adventices surtout les adventices monocotylédones, ce fait est dû, peut être, au maintien du stock semencier dans le semis direct contrairement au labour qui le perturbe.

Conclusion

A l'exception de quelques effets bénéfiques du semis direct au niveau du sol comme le carbone total, phosphore et l'humidité, Les résultats obtenus au terme de trois années d'application du semis direct montrent que le semis direct n'arrive pas encore à engendrer de grosses améliorations sur le plan sol et surtout sur le plan végétal.

Le mauvais control des mauvaises herbes ne nous a pas permis d'obtenir des résultats aussi fiables concernant les effets des techniques culturales sur les cultures installées, ainsi l'envahissement du semis direct par les mauvaises herbes a compromis la culture installée. Ceci suggère que la technique du semis direct ne pourrait jamais réussir sans la bonne maîtrise des mauvaises herbes.

L'adoption de l'agriculture de conservation incite à plus de précautions et d'investigations sur les conditions de succès de ce système et leur durabilité dans les zones semi-arides. Nos résultats positifs des techniques conservatrices du sol (SD, TCS), bien qu'ils sont limités, encouragent de continuer cette étude à long terme à conditions d'assurer une bonne conduite des cultures installées.

Les références bibliographiques

- Abbas K., Madani T., Bencheikh E.H. et Merrauouche L. 2001.** Systèmes d'élevage ovin en zone semi aride céréalière: taille d'exploitation et caractère pastoral. *Médit*, 1, 2002, 50-55.
- Abbas K. 2004.** [La jachère pâturée dans les zones céréalières semi-arides : Pour une approche de développement durable](#). In Ferchichi A. (comp.) . *Réhabilitation des pâturages et des parcours en milieux méditerranéens = Rangeland and pasture rehabilitation in Mediterranean areas* . Zaragoza (Spain) : CIHEAM-IAMZ, 2004. p. 169-173 : 11
- Abbas K et Abdelguerfi A. 2005.** Perspectives d'avenir de la jachere pâturée dans les zones céréalières semi-aride. *Fourrage* 184, 533-546.
- Abdellaoui Z., Tissekrat H., Belhadj A. et Zaghoulane O. 2010.** Etude comparative de l'effet du travail conventionnel, semis direct et travail minimum sur le comportement du blé dur. Actes du 4 ème rencontre méditerranéen du semis direct. Sétif, Algérie, du 3 à 5 mai 2010 p, 68-82
- Ahl I., Joergensen R.G., Kandeler E., Meyer B. et Woehler V 1999.** Microbial biomass and activity in silt and sand loam after long-term shallow tillage in central germany. *Soil and Tillage Research* 49.
- Albrecht A. 1998.** La matière organique et la stabilité structurale des horizons de surface des sols ferralitiques argileux. Effet du mode de gestion des terres. Thèse de l'Université Nancy 1, France.
- AL-Kaisi M. et Licht M.A. 2004.** Effect of strip tillage on corn nitrogen uptake and residual soil nitrate accumulation compared with no-tillage and chisel plow. *Agronomy Journal*, 96, 1164-1171.
- Al-Kaisi M. et Yin x. 2005.** Tillage and crop residus effects on soil carbon and carbon dioxide émission in corn-soybean rotation. *Journal of environment quality* 34: 437-445.
- Al-Ouda A. 2010.** The role of improved reginal practices in the implementation of conservation agriculture in arab countries. Actes du 4 eme rencontre méditerranéennes du semis direct. Setif, algerie, du 3 à 5 mai 2010 p, 59-67
- Alvarez C.R. et Alvarez R. 2000.** Short term effects of tillage systems on active soil microbial biomass. *Biol. Fertil. Soils* 31, 157–161. (doi:10.1007/s003740050639)
- Alvear M., Rosas A., Rouanet J. L. et Borie F. 2005.** Effects of three soil tillage systems on some biological activities in an Ultisol from southern Chile. *Soil Tillage Res.* 82, 195–202. (doi:10.1016/j.still.2004.06.002)
- Ammann H., Anken T., Irla E., Heusser J., Mader P., Nievergelt J., Richner W., Schmid O., Stamp P., Walter U. et Weisskopf P. 2003.** Influence du travail du sol sur la lixiviation des nitrates. *Rapport FAT*, 598, 1-8.
- Ananyeva N.D., Demkina T.S., Jones W.J., Cabrera M.L. et Steen W.C. 1999.** Microbial biomass in soils of Russia under long term management practices. *Biol. Fertil. Soils* 29, 291–299. (doi:10.1007/s003740050555)
- Andrade D.S., Colozzi-Filho A. et Giller K.E. 2003.** The Soil Microbial Community and Soil Tillage, p. 51-81, *In* A. El Titi, ed. *Soil Tillage in Agroecosystems*. CRC Press LLC, Boca Raton.
- Angers D.A. Samson N. et Legere A. 1993.** Early changes in water-stable aggregation induced by rotation and tillage in a soil under barley production. *Canadian Journal of Soil Science*, 73, 51-59.
- Angers D.A. et Chenu C. 1997.** Dynamics of soil aggregation and C sequestration. *In* : Lal, R., Kimble, J., Follet, R.F., Stewart, B.A (Eds), *Soil process and the carbon Cycle*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 199-206.
- Arabi M. et Roose E. 1989.** Influence de quatre systemes de production mediterraneennes de moyenne montagne algerienne. *Bulletin Réseau Erosion* 9 ; 39-51
- Arshad M.A., Franzluebbers A.J. et Azooz R.H. 1999.** Components of surface soil structure under conventional and no-tillage in northwestern Canada. *Soil & Tillage Research*, 53, 41-47.
- Azooz R.H. et Arshad M.A. 1996.** Soil infiltration and hydraulic conductivity under longterm no-tillage and conventional tillage systems. *Canadian Journal of Soil Science*, 76, 143- 152.

- Baggs E.M., Stevenson M., Pihlatie M., Regar A., Cook H. et Cadisch G. 2003.** Nitrous oxide emissions following application of residues and fertiliser under zero and conventional tillage. *Plant and Soil*, **254**, 361-370.
- Baize D. 2000.** Guide des analyses en pédologie, Paris.
- Baker C.J., Saxton K.E., Ritchie W.R., Chamen W.C.T., Reicosky D.C., S Ribeiro M.F., Justice S.E. et Hobbs P.R. 2006.** No-tillage Seeding in Conservation Agriculture (2nd edition). CABI and FAO, London, 326 p.
- Baldy C. 1974.** Contribution à l'étude fréquentielle des conditions climatiques : leur influence sur la production des principales zones céréalières d'Algérie. Document technique, projet céréales. 152
- Balesdent J.C. Chenu et Balabane M. 2000.** Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil & Tillage Research*, **53**, 215-230.
- Ball D.A. et Miller S.D. 1990.** Weed seed population response to tillage, and herbicide use in threer irrigated cropping sequences. *Weed Sci.*, **38**: 511-517.
- Barber S.A. 1995.** Soil Nutrient bioavailability. A mechanistic approach. John Wiley and sons, 414p
- Basic F., Kisić I., Mesic M., Nestroy O. et Butorac A. 2004.** Tillage and crop management effects on soil erosion in central Croatia. *Soil & Tillage Research*, **78**, 197-206.
- Batouche S. et Labiod H. 1991.** Les sols des hautes plaines sétifiennes. Inventaire, analyse et synthèse des études pédologiques réalisées dans cette région de 1965 à 1985 : essai de schématisation. Mémoire ingénieur univ sétif. 133p, carte et annexes
- Baumhardt R.L. et Jones O.R. 2002.** Residue management and tillage effects on soilwater storage and grain yield of dryland wheat and sorghum for a clay loam in Texas. *Soil & Tillage Research*, **68**, 71-82.
- Bedrani S., Chehat F. et Ababasa S. 2001.** L'agriculture algérienne en 2000. Une révolution tranquille le PNDA. Perspectives agricoles, 2001, 1, 7-51.
- Benites J. R., Ashburner J.E. (2001).** FAO's role in promoting conservation agriculture. In : 1st world congress on conservation agriculture, Madrid, 1-5 october. T
- Bennioui N.M. et Louhichi B. 2006.** Diversité des exploitations agricole en région semi-aride algérienne. *Sechresse* 17: 399-406.
- Bessam F. et Mrabet R. 2001.** Time influence of no tillage on organic matter and its quality of a vertic Calcixeroll in a semiarid area of Morocco. Garcia-Torres et al. (Eds). In: proceedings of International Congress on Conservation Agriculture. Madrid, Spain. October 1-5, 2001. Vol. 2. pp 281-286.
- Bhattacharyya R., Prakash V., Kundu S. et Gupta H.S. 2006.** Effect of tillage and crop rotations on pore size distribution and soil hydraulic conductivity in sandy clay loam soil of the Indian Himalayas. *Soil & Tillage Research*, **86**, 129-140.
- Bissett, M.J. et O'Leary G.J. 1996.** Effects of conservation tillage on water infiltration in two soils in south-eastern Australia. *Aust. J. Soil Res.* **34**, 299-308. (doi:10.1071/ SR9960299)
- Blanco-Canqui H., Gantzer C.J., Anderson S.H. et Alberts E.E. 2004.** Tillage and crop influences on physical properties for an Epiaqualf. *Soil Science Society of America Journal*, **68**, 567-576.
- Blanco-Canqui H. et Lal R. 2007.** Soil structure and organic carbon relationships following 10 years of wheat straw management in no-till. *Soil and Tillage Research* **95**:240-254.
- Blevins R.L., Thomas G.W., Smith M.S., Frye W.W. et Cornelius P.L. 1983.** Changes in soil properties after 10 years continuous non-tilled and conventionally tilled corn. *Soil & Tillage Research*, **3**, 135-146.
- Boizard H., Richard G., Defossez P., Roger-Estrade J. et Boiffin J. 2004.** Etude de l'effet à moyen et long terme des systèmes de culture sur la structure d'un sol limoneux-argileux du Nord du Bassin Parisien: les enseignements de l'essai de longue durée d'Estrée-Mons (80). *Etude et Gestion des Sols* **11**:11-20.
- Bouzza A. 1990.** Water conservation in wheat rotations under several management and tillage systems in semi-arid areas. PhD Diss. Univ. of Nebraska, USA. 200p.
- Brown L.C., Foster G.R. et Beasley D.B. 1989.** Rill erosion as affected by incorporated crop residue seasonal consolidation. *Trans. A. Soc. Agris. Engrs*, **32**; 1967-1978.

- Bruce R.C. et Rayment G.E. 1982.** Analytical methods and interpretations used by the Agricultural Chemistry Branch for Soil and Land Use Surveys. Queensland Department of Primary Industries. Bulletin QB8 (2004), Indooroopilly, Queensland.
- Bulson H.A.J., Snaydon R.W et Stopes C.E. 1997.** Effects of plant density on intercropped wheat and field beans in an organic farming system. *J. agric. Sci.* 128, 59-71.
- Campbell C.A. et Zentner R.P. 1993.** Soil Organic Matter as influenced by crop rotations and fertilizer. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57 : 1034-1040.
- Campbell C.A., McConkey B.G., Zentner R. P., Selles F. et Curtin D. 1996.** Long-term effects of tillage and crop rotations on soil organic matter and total N in a clay soil in southwestern Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.* 76 :395-401.
- Cantero-Martínez C. et Gabiña D. 2004.** Agriculture Pluviale Méditerranéenne : Stratégies de Durabilité. Options Méditerranéennes, Série A, No. 60, Zaragoza, Spain.
- Carter M.R. et Renne D.A. 1987.** Effects of tillage on deposition and utilization of 15 N residual fertilizer. *Soil and tillage research*(9), 33-43.
- Catt J.A., Howse k.R., Christian D.G., Lane P.W., Harris G.L. et Goss M.J. 2000.** Assessment of tillage strategies to decrease nitrates leaching in the Brimstone Farm Experiment, Oxfordshire, UK. *Soil and Tillage Research*, 53, 185-200.
- CDSR. 2001.** Le semis direct ; potential et limites pour une agriculture durable en Afrique du nord. Commission économique pour l'Afrique. Nations unies décembre 2001.
- Chabane M. 2010.** L'agriculture de conservation, voie de sécurité alimentaire dans les pays du maghreb? Actes du 4 eme rencontre méditerranéennes du semis direct. Setif, algerie, du 3 à 5 mai 2010 p, 130-149
- Chalck P.M. 1998.** Dynamics of biologically fixed N in legume-cereal rotations : a review. *Aust. J. Res.*, 49 : 303-316
- Chan K.Y. 2001.** An overview of some tillage impacts on earthworm population abundance and diversity - implications for functioning in soils. *Soil Tillage Res.* 57, 179-191.
- Cluzeau D., Hallaire V. et Bodet J.M. 2001.** Du labour au semis direct : enjeux Agronomiques, Conférence-débat INRA –ITCF, Salon International du Machinisme Agricole, février, p 11-13, pp 22
- Colombani J., Lamagat J.P. et Thiebaut. J. 1973.** Un nouvel appareil pour la méthode Müntz une extension de la méthode Porchet aux sols hétérogènes.
- Cookson W.R., Murphy D.V. et Roper M.M. 2008.** Characterizing the relationships between soil organic matter components and microbial function and composition along a tillage disturbance gradient. *Soil Biology and Biochemistry* 40:763-777.
- Coquet Y., Vachier P. et Labat C. 2005.** Vertical variation of near-saturated hydraulic conductivity in three soil profiles. *Geoderma*, 126, 181-191.
- Cowbrough. 2002.** Principe de lutte intégrée contre les mauvaises herbes. <http://www.gov.on.ca/OMAFRA/french/crops/facts/iwm.htm>.
- Danso S.K.A. 1995.** Assessment of biological nitrogen fixation. *Fertilizer research* 42 : 33-41.
- Dao T.H. 1993.** Tillage and winter wheat residue management effects on water infiltration and storage. *Soil Science Society of America Journal*, 57, 1586-1595.
- Derksen D., Lafond D.P., Thomas A.G., Loeppky H.A. et Swanton C.J. 1993.** Impact of agronomic practices on weed communities: tillagesystems. *Weed Sci.*, 41 : 409-417.
- Derpsch R. 2001.** Conservation tillage, no-tillage and related technologies. In. Proceedings of I World Congress on Conservation Agriculture, Madrid I-5, October. Garcia-Torres et al. (eds). Vol 1:161-170.
- Dessaint F., Chadoeuf R. et Barralis G. 1990.** Etude de la dynamique d'une communauté adventice. II- influence à long terme des techniques culturales sur le potentiel semencier. *Weed research*, 30, pp. 319-330.
- Dexter A.R. 1991.** Amelioration of soil by natural processes. *Soil & Tillage Research*, 20, 87-100.
- D'Haene K., Vandenbruwane J., De Neve S., Gabriels D., Salomez J. et Hofman G. 2008a.** The effect of reduced tillage on nitrogen dynamics in silt loam soils. *European Journal of Agronomy* 28:449-460.

- D'Haene K., Vermang J., Cornelis W.M., Leroy B.L.M., Schiettecatte W., De Neve S., Gabriels D. et Hofman G. 2008b.** Reduced tillage effects on physical properties of silt loam soils growing root crops. *Soil and Tillage Research* 99:279-290
- Dick W.A., Blevins R.L., Frye W.W., Peter S.E., Christensen D.R., Pierce F.J. et Vitosh M.L. 1998.** Impacts of agricultural management practices on C sequestration in forest-derived soils of the eastern Corn Belt. *Soil & Tillage Res.* 47: 235-344.
- Diekow J., Mielniczuk J., Knicker H., Bayer C., Dick D.P. et Kogel-Knabner I. 2005.** Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. *Soil Tillage Res.* 81, 87–95. (doi:10.1016/j.still.2004.05.003)
- Djanane 1997.** Réformes économiques et agriculture en Algérie. Thèse de doctorat d'État, Institut des sciences économiques, université Ferhat Abbas, Sétif, Algérie, 1997.
- Dormaar J.F. et Carefoot J.M. 1996.** Implication of crop residue and conservation tillage on soil organic matter. *Can. J. Plant Sci.* 76, 627–634.
- Drury C.F., Mckenney D.J., Findlay W.I. et Gaynor J.D. 1993.** Influence of tillage on nitrate loss in surface runoff and tile drainage. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57, 797-802.
- Edwards J.H., Wood C.W., Thurlow D.L. et Ruf M.E. 1992.** Tillage and crop rotation effects on fertility status of a Hapludult soil. *Soil Science Society of America Journal*, 56, 1577-1582.
- Edwards C.A. et Bohlen P.J. 1996.** Biology and Ecology of Earthworms 3rd ed. Chapman and Hall, London, 426 pp.
- Ehlers W., Kopke U., Hesse F. et Bohm W. 1983.** Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. *Soil & Tillage Research*, 3, 261-275.
- El-Brahli A., Bouma A. et Mrabet R. 1997.** Stratégies de lutte contre les mauvaises herbes dans plusieurs rotations céréalières en conditions de labour et de semis direct. Rapport annuel INRA Centre Aridoculture. pp 171-174.
- El-Brahli A. et Mrabet R. 2000.** La jachère Chimique: Pour relancer la céréaliculture nonirriguée en milieu semi-aride Marocain. Actes de la Journée Nationale sur le Désherbage des Céréales. Centre Aridoculture Settat 23 Novembre 2000. Association Marocaine de Malherbologie. pp: 133-145.
- Elliott E.T. 1986.** Aggregate structure, carbon, nitrogen and phosphorus native and cultivated soils, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50 :627-633.
- El Titi A. 2003a.** *Soil tillage in agroecosystems*. CRC Press, New-York (USA).
- FAO. 1983.** Garder le terre en vie : l'érosion des sols , ses causes et ses remèdes. Bulttin pédologique 50 : 62 p.
- FAO. 1990.** Conservqtion des sols et des eaux dans les zones semi-aride. Buletin pedologique 57; 182 p.
- FAO 2001.** Conservation agriculture: case studies in Latin America and Africa. FAO Soils Bulletin 78, 69p.
- FAO. 2008.** la sequestration du carbone dans le sol pour une meilleure gestion des sols.FAO, département du developpement durable. Référence internet www.fao.org/DOCREP/005/Y_20779_F/y2779fo4.html, 63pages.
- Feller C. et Beare M.H. 1997.** Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics.*Geoderma* 79, 69_116.
- Ferreras L.A., Costa J.L., Garcia F.O. et Pecorari C. 2000.** Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern "Pampa" of Argentina. *Soil & Tillage Research*, 54, 31-39.
- Findeling A., Ruy S. et Scopel E. 2003.** Modeling the effects of partial residue mulch on runoff using a physically based approach. *Journal of Hydrology*, 275, 49-66.
- Floret C. et Pontanier R. 2000.** La Jachère en Afrique tropicale. De la jachère naturelle à la jachère améliorée. Le point des connaissances. John Libbey Eurotext, Paris.
- Follett R.F. et Peterson G.A. 1988.** Surface soil nutrient distribution as affected by wheatfallow tillage systems. *Soil Science Society of America Journal*, 52, 141-147.

- Fournier A., Floret C. et Gnahoua G.M. 2000.** Végétation des jachères et succession post-culturelle en Afrique tropicale. In: La jachère en Afrique tropicale. De la jachère naturelle à la jachère améliorée. Le point des connaissances (eds C. Floret & R. Pontanier), pp. 123-168. John Libbey Eurotext, Paris.
- Franzluebbers A.J., Hons F.M. et zuberer D.A. 1995.** Tillage and crop effects on seasonal soil carbon and nitrogen dynamics. *Soil Sci. Soc. Am.J.*, 59, 1618-1624.
- Franzluebbers, A.J., et M.A. Arshad. 1997.** Particulate organic carbon content and potential mineralization as affected by tillage and texture. *Soil Science Society of America Journal* 61:1382-1386.
- Freebairn D.M. et Boughton W.C. 1985.** Hydrologic effects of crop residue management practices. *Aust. J. Soil Res.* 23, 23–55. (doi:10.1071/SR9850023)
- Frey S.D., Elliott E.T. et Paustian K. 1999.** Bacterial and fungal abundance and biomass in conventional and no-tillage agroecosystems along two climatic gradients. *Soil Biology and Biochemistry* 31:573-585.
- Fuentes J.P., Flury M. et Bezdicek D.F. 2004.** Hydraulic properties in a silt loam soil under natural prairie, conventional till, and no-till. *Soil Science Society of America Journal*, 68, 1679-1688.
- Gál A., Vyn T.J., Michéli E., Kladvík E.J. et McFee W.W. 2007.** Soil carbon and nitrogen accumulation with long-term no-till versus moldboard plowing overestimated with tilled-zone sampling depths. *Soil and Tillage Research* 96:42-51.
- Gallien E., Le Bissonais Y., Eimberk M., Benkhadra H., Ligneau L., Ouvry J-F. et Martin P. 1995.** Influence des couverts végétaux de jachère sur le ruissellement et érosion diffuse en sol limoneux cultivés. *Cahier Agriculture* 4 : 171-183.
- Gintzburger G., Rochon J.J. et Conesa A.P. 1990.** The French Mediterranean zones: sheep rearing systems and the present and potential role of pasture legumes. In: Osman A.E. et al. (Eds.), ICARDA, the Role of Legumes in the Fallowing Systems of the Mediterranean Areas, Kluwer AcP. ress. Dordrecht, 179-194.
- Goss J.M., Howse K.R., Lane P.W., Christian D.G. et Harris G.L., 1993.** Losses of nitrates-nitrogen in water draining from under autumn-sown crops established by direct drilling or mouldboard ploughing. *Journal of Soil Science*, 44, 35-48.
- Grant C.A. et Lafond G.P. 1993.** The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clay soil in southern Saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Science*, 73, 223-232.
- Granval P., Aliaga R., Soto P. 1993.** Effets des pratiques agricoles sur les lombriciens (Lumbricidae), les bécassines des marais (*Gallinago Gallinago*) et dans la valeur pastorale du marais de la Dives (Calvados), *Gibier Faune Sauvage*, vol 10 p59-73
- Greenland D.J. 1981.** Soil management and soil degradation. *J. Soil Sci.*, 32 : 301-322.
- Gregorich E.G. et Carter M.R. 1997.** Soil quality for crop production and ecosystem health. *Developments in Soil Science* 25. Elsevier, NY. USA.
- Guedez P.Y. 2002.** Environmental aspects of conservation agriculture in Europe, Rapport de stage en vue de l'obtention du diplôme d'études spécialisées en Sciences et Gestion de l'Environnement sous la direction de M.A. Reding (Monsanto) et A. Peeters (UCL), Université Catholique de Louvain, 97 pp
- Guerif J. 1991.** Simplification du travail du sol et évolution du milieu physique et chimique, *Perspectives Agricoles*, n°161, septembre, p 39-46
- Guerif J. 1994.** Influence de la simplification du travail du sol sur l'état structural des horizons de surface. Conséquences sur leurs propriétés physiques et leurs comportements mécaniques, p. 13-33, In G. Monnier, et al., eds. *Simplification du travail du sol*, INRA (Les Colloques N° 65) ed, Paris, 16 mai 1991.
- Guillaume F., Norton L.R. et Xavier R. 2008.** Environmental and management factors determining weed species composition and diversity in France. *Adr. Ecosyst. Environ.*, 128 : 68-76.

- Gupta S., Munyankusi E., Moncrief J., Zvomuya F. et Hanewall M. 2004.** Tillage and manure application effects on mineral nitrogen leaching from seasonally frozen soils. *J. Environ. Qual.*, 33, 1238-1246.
- Halvorson A.D., Wienhold B.J. et Black A.L. 2001.** Tillage and nitrogen fertilization influence grain and soil nitrogen in an annual cropping system. *Agronomy Journal*, 93, 836-841.
- Hamadache A., Makhlouf M. et Harkati N. 2002.** Effet de la date et l'effet de travail de sol sur le comportement du brome (*Bromus* sp) et le rendement de blé dur (*triticum durum*). Dans la région de Sétif. Rev. Céréaliculture, n°37. ITGC Alger, pp.24-29.
- Hammel J.E. 1989.** Long-term tillage and crop rotation effects on bulk density and soil impedance in Northern Idaho. *Soil Science Society of America Journal*, 53, 1515-1519.
- Hansen E.M. et Djurhuus J. 1997.** Nitrate leaching as influenced by soil tillage and catch crop. *Soil and tillage research*, 41, 203-219.
- Hauggaard-Nielsen H., Ambus P. et Jensen E.S. 2001.** Interspecific competition, N use and interference with weeds in pea - barley intercropping. *Field Crop Res.* 70, 101-109.
- Hauggaard-Nielsen H., Ambus P. et Jensen E.S. 2003.** The comparison of nitrogen use and leaching in sole cropped versus intercropped pea and barley. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 65.
- Hatfield K.L. et Pruegar J.H. 1996.** Microclimate effects of crop residues on biological processes. *Theor. Appl. Climatol.* 54, 47-59. (doi:10.1007/BF00863558)
- Haynes R.J. 2005.** Labile Organic Matter Fractions as Central Components of the Quality of Agricultural Soils: An Overview. *Advances in Agronomy* 85:221-268.
- Heard J.R., Kladvik E.J. et Mannering J.V. 1988.** Soil macroporosity, hydraulic conductivity and air permeability of silty soils under long-term conservation tillage in Indiana. *Soil & Tillage Research*, 11, 1-18.
- Hernández J.L., Lopez R., Navarrete L. et Sánchez-Giron V. 2002.** Long-term effects of tillage systems and rotations on soil structural stability and organic carbon stratification in semiarid central Spain. *Soil & Tillage Research*, 66, 129-141.
- Hill R.L. 1990.** Long-term conventional and no-tillage effects on selected soil physical properties. *Soil Science Society of America Journal*, 54, 161-166.
- Holford I.C.R. et Cullis B.R. 1985.** Effects of phosphate buffer capacity on yield response curvature and fertiliser requirements of wheat in relation to soil phosphate tests. *Australian Journal of Soil Research* 23, 417-427.
- Houmani H. 1999.** Situation alimentaire du bétail en Algérie. *Recherche Agronomique*, 1999, 4, 35-45.
- Hubert B., Rigolot E., Turlant T et Couix N. 1993.** Forest fire prevention in the Mediterranean Region; News approaches to agriculture-environment relations. In: Brossier et al. (Eds.), *Systems Studies in Agriculture and rural development*, INRA, France, 63-86
- Huggins D.R., Buyanovsky G.A., Wagner G.H., Brown J.R., Darmody R.G., Peck T.R., Lesoing G.W., Vanotti M.B. et Bundy L.G. 1998.** Soil organic C in the tallgrass prairie-derived region of the corn belt: effects of long-term crop management, *Soil & Tillage Res.*, 47, 219-234.
- Hussain I., Olson K.R. et Siemens J.C. 1998.** Long-term tillage effects on physical properties of eroded soil. *Soil Science*, 163, 970-981.
- Huwe B. 2003.** The role of soil tillage for soil structure, p. 27-50, In A. El Titi, ed. *Soil Tillage in Agroecosystems*. CRC Press LLC, Boca Raton
- ITGC. 1980.** Synthèse et bilan des opérations intégrées de recherche et développement de l'Institut de Développement des Grandes Cultures 1971- 1979, CCCE-SEDES-ITGC, Alger, 364 p.
- ITGC. 2009.** La politique du renouveau de l'économie agricole et rurale du ministère de l'agriculture et du développement rural, volume 1. Céréaliculture. Revue technique et scientifique institut technique des grandes cultures. L'Algérie. Revue n° 52. ISSN 1011-9582. 40-41-42
- Jean-françois V. 2009.** comparaison de différentes techniques de travail du Sol en agriculture biologique : effet de la structure et de la localisation des résidus sur les microorganismes du sol et leurs activités de

minéralisation du carbone et de l'azote l'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (Agro Paris Tech) thèse de doctorat 172P.

Jouve A.M., Belghazi S. et Khelfache Y. 1995. La filière des céréales dans les pays du Maghreb : constance des enjeux, évolution des politiques. *Options Méditerranéennes*, B, 14, 1995, 167-192. OAA/FAO, 1999. Le caractère multifonctionnel de l'agriculture et des terroirs. Conférence Maastricht, Pays Bas, 1999, 1-14pp

Jouy L. 2001. Techniques sans labour : Effets de la suppression du labour sur la coût du désherbage, *Perspectives Agricoles*, n°271, septembre, p 80-82

Jung W. S., Kim K.H., Ahn J. K., Hahn S.J. et Chung I.M. 2004. Allelopathic potential of rice (*Oryza sativa* L.) residues against *Echinochloa crusgalli*. *Crop Protect.* 23, 211–218. (doi:10.1016/j.cropro.2003.08.019)

Justes E., Dorsainvil F., Thiébeau P. et Alexandre M. 2002. Effect of catch crops on the water budget of the fallow period and the succeeding main crop. *Proceedings 7th ESA Congress*, Cordoba (Spain), 503-504.

Kacemi M. 1992. Water conservation, crop rotations and tillage systems in semiarid Morocco. Ph.D. Dissertation. Colorado State Univ. Fort Collins, CO. USA. 203 p.

Kanwar R.S., Stoltenberg D.E., Pfeiffer R., Karlen D., Colvin T.S. et Simpkins W.W., 1993. Transport of nitrates and pesticides to shallow ground water system as affected by tillage and crop rotation practices. *Proc. Conference : Agricultural research to protect water quality, Minneapolis, Minnesota, Fev.1993*, 270-273.

Kay B.D. et Vanden Bygaart A.J. 2002. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil and Tillage Research* 66:107-118.

Kennedy A.C. 1999. Bacterial diversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 74:65-76.

Kerougli S. et Aït Ouali A. 2010. Etude de l'effet des systèmes de culture et des précédents sur le sol et la culture de blé tendre (*Triticum aestivum*, L.), en zone semi-aride. Mémoire d'ingénieur en sciences agronomes, UFA Sétif

Kladivko E. J. 2001. Tillage systems and soil ecology. *Soil Tillage Res.* 61, 61-76.

Koch H.J. et Stockfisch N. 2006. Loss of soil organic matter upon ploughing under a loess soil after several years of conservation tillage. *Soil and Tillage Research* 86:73-83.

Köller K. 2003. Techniques of Soil Tillage, p. 1-25, *In* A. El Titi, ed. *Soil Tillage in Agroecosystems*. CRC Press LLC, Boca Raton.

Kribaa M., Hallaire V., Curmi P. 2001. Effects of various cultivation methods on the structure and hydraulic properties of a soil in a semi-arid climate. *Soil till. Res.* 60-1/2: 43-53

Kribaa. 2003. Effet de la jachère sur les sols en céréaliculture pluviale dans les zones semi-arides méditerranéennes. Cas des hautes plaines sétifiennes en Algérie. Thèse de Doctorat d'état en Sciences Agronomiques, INA El-Harrach, Alger, 121p.

Kumar K. et Goh K.M. 2000. Crop residues and management practices: effects on soil quality, soil nitrogen dynamics, crop yield and nitrogen recovery. *Adv. Agron.* 68, 198–279.

Labreuche J., Viloingt T., Caboulet D., Daouze J.P., Duval R., Ganteil A., Jouy L., Quere L., Boizard H. et Roger-Estrade J. 2007. Evaluation des impacts environnementaux des Techniques Culturelles Sans labour (TCSL) en France. Partie I: La pratique des TCSL en France. ADEME.

Lahlou S. et Mrabet R. 2001. Tillage Influence on Aggregate Stability of A Calcixeroll Soil in Semiarid Morocco. Garcia-Torres et al. (eds). *In: Proceedings of International Congress on Conservation Agriculture*. Madrid, Spain. October 1-5, 2001. Vol. 2:249-254.

Lahmar R. 1993. Intensification céréalière dans hautes plaines sétifiennes. Quelques résultats. *Cahier option méditerranéenne* vol. 2, n°1 93-97.

Lahmar R. 2007. Opportunités et limites de l'agriculture de conservation en méditerranée. Les enseignements du projet de KASS. *Options méditerranéennes*, série A, Numéro 69. P 11-18

- Lahmar R. et bouzerzour H. 2010.** Du mulch terreux au mulch organique pour assurer une transition vers l'agriculture durable dans les hautes plaines sétifiennes. Actes du 4^{eme} rencontre méditerranéennes du semis direct. Setif, algerie, du 3 à 5 mai 2010 p, 48-58
- Lampurlanés J. et Cantero-Martínez C. 2003.** Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop management systems and their relationship with barley root growth. *Agronomy Journal*, **95**, 526-536.
- Lampurlanés J. et Cantero-Martínez C. 2006.** Hydraulic conductivity, residue cover and soil surface roughness under different tillage systems in semiarid conditions. *Soil & Tillage Research*, **85**, 13-26.
- Langlet B. et Remy J.C. 1976.** Incidence de la simplification du travail du sol sur la dynamique de l'azote. P 189-204. In simplification de travail du sol en production céréalière, ITCF (Ed), Pris. 1334.
- LaRue T.A. et Patterson T.G. 1981.** How much nitrogen do legume fix? *Advan. In Agron.* 34 : 15-38.
- Le Houérou H.N. 1992.** Vegetation and land-use in the Mediterranean basin by the year 2050: a prospective study. In: Jeftic L. et al. (Eds.), *Climatic change and the Mediterranean*. Arnold, Holder and Stoughton Publ., London, 6: 175-2
- Leprun J.C. 1988.** Matière organique et conservation des sols, exemple brésilien. Cahier OROSTOM, série pédologie. Vol. XXIV. N°4. Page 333-334.
- Liebman M et Dick E. 1993.** Crop rotation and intercropping strategies for weed management. *Ecol. App.* 3, 92-122.
- Lin H.S., McInnes K.J., Wilding L.P. et Hallmark C.T. 1999.** Effects of soil morphology on hydraulic properties: I. Quantification of soil morphology. *Soil Science Society of America Journal*, **63**, 948-954.
- Little J.L., Bennett D.R. et Miller J.J. 2005.** Nutrient and sediment losses under simulated rainfall following manure incorporation by different methods. *Journal of Environmental Quality* 34: 1883-1895
- McIsaac G.F., Hirschi M.C., Mitchell J.K., 1991. Nitrogen and phosphorus in eroded sediment from corn and soybean tillage systems. *Journal of Environmental Quality* 20: 663-670
- Liu X.J., Mosier A.R., Halvorson A.D. et Zhang F.S. 2006.** The impact of nitrogen placement and tillage on NO, N₂O, CH₄ and CO₂ fluxes from a clay loam soil. *Plant and Soil*, **280**, 177-188.
- Lodhi M.A.K. et Malik K.A. 1987.** Allelopathy in agroecosystems: wheat phytotoxicity and its possible role in crop rotation. *J. Chem. Ecol.* 13, 1881-1891. (doi:10. 1007/BF01013237)
- Logsdon S.D., McCoy E.L., Allmaras R.R. et Linden D.R. 1993.** Macropore characterization by indirect methods. *Soil Science*, **155**, 316-324.
- Lopez-Bellido L. 1992.** Mediterranean cropping systems. P : 311-356. In *Ecosystems of the World, Field crop ecosystems*. Pearson, C.J. (edt). Elsevier.
- Madari B., Machado P.L.O.A., Torres E., de Andrade A.G. et Valencia L.I.O. 2005.** No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a Rhodic Ferralsol from southern Brazil. *Soil Tillage Res.* 80, 185-200. (doi:10.1016/j.still.2004.03.006)
- McCarty G. W., Lyssenko N.N. et Starr J.L. 1998.** Short-term changes in soil carbon and nitrogen pools during tillage management transition. *Soil Science Society of America Journal*, **62**, 1564-1571.
- McBride R.A., Martin H. et Kennedy B. 1989.** La compaction du sol. Fiche technique, Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, Ontario, Canada
- McConkey B.G., Curtin D., Campbell C.A., Brandt S.A. et Selles F. 2002.** Crop and soil nitrogen status of tilled and no-tillage systems in semiarid regions of Saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Science*, **82**, 489-498.
- McLaughlin A. et Mineau P. 1995.** The impact of agriculture practices on biodiversity. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 55 : 201-212.
- McGregor K.C., Bengtson R.L. et Mutchler C.K. 1990.** Surface and incorporated wheat straw effects on interrill runoff and soil erosion. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 33, 469-474.

- Miller J.J., Sweetland N.J., Larney F.J. et Volkmar K.M. 1998.** Unsaturated hydraulic conductivity of conventional and conservation tillage soils in southern Alberta. *Canadian Journal of Soil Science*, **78**, 643-648.
- Monnier G. 1994.** Introduction à la simplification du travail du sol, p. 5-9, In G. Monnier, et al., eds. *Simplification du travail du sol*, INRA (Les Colloques n° 65) ed, Paris, 16 mai 1991.
- Mrabet R. 1993.** Revue bibliographique sur les systèmes de labour de conservation de l'eau et leurs effets sur le système sol-plante. *Al Awamia* 80:3-38.
- Mrabet R. 1997.** Crop residue management and tillage systems for water conservation in a semiarid area of Morocco. PhD dissertation. Colorado State Univ. Fort Collins, CO. USA. 220 p.
- Mrabet R. et Bouzza A. 2000.** Influence of tillage, residue management and cropping systems on wheat production in a turbulent semiarid area of Morocco. International Crop Science Conference, 17-22 Août 2000. Hamburg, Germany
- Mrabet R. 2000a.** Long-term No-tillage influence on soil quality and wheat production in semiarid Morocco. In. Proceedings of 15' ISTRO Conference " Tillage at the Threshold of the 21" Century: Looking Ahead. Morison, J.E. (ed), Fort Worth, Texas USA July 2-7, 2000.
- Mrabet R. 2000b.** Differential response of wheat to tillage management systems in a semiarid area of Morocco. *Field Crops Research*. 66 : 165-174.
- Mrabet R. 2001a.** No-tillage Farming: Renewing Harmony Between Soils and Crops in Semiarid Morocco. Third International Conference on Land Degradation (ICLD3) and Meeting of the IUSS Subcommission C – Soil and Water Conservation. Rio de Janeiro, Brazil, September 17-21, 2001. <http://www.cnps.embrapa.br/icld3>.
- Mrabet R. 2001b.** Le Semis Direct: Une technologie avancée pour une Agriculture durable au Maroc. Bulletin de Transfert de Technologie en Agriculture MADREF-DERD. N° 76, 4p. <http://agriculture.ovh.org>.
- Mrabet R. 2001c.** No-tillage Farming: Renewing Harmony Between Soils and Crops in Semiarid Morocco. In. Proceedings Third International Conference on Land Degradation (ICLD3) and Meeting of the IUSS Subcommission C - Soil and Water Conservation. Rio de Janeiro, Brazil, September 17-21, 2001.
- Mrabet R. 2001d.** No-Tillage System: Research Findings, Needed Developments and Future Challenges for Moroccan Dryland Agriculture. In proceedings of International Congress on Conservation Agriculture. Garcia-Torres et al. (eds). Madrid, Spain. October 1-5, 2001. p:737-741.
- Müller M., Schafflützel R., Chervet A., Sturny W.G., Zihlmann U. et Weissopf P. 2008.** Teneurs en humus après 11 ans de semis direct ou de labour. *Revue suisse Agric.* **40** (en préparation).
- Munawar A., Blevins R.L., Frye W.W. et Saul M.R. 1990.** Tillage and cover crop management for soil water conservation. *Agronomy Journal*, **82**, 773-777.
- Munkholm L.J., Schjonning P., Rasmussen K.J. et Tanderup K. 2003.** Spatial and temporal effects of direct drilling on soil structure in the seedling environment. *Soil and Tillage Research* 71:163-173.
- Nahal L. 1975.** Principe de conservation du sol, Masson et Cie, 140 p.
- Nahal L. 1984.** Classement provisoire des terrains et remèdes pour la lutte contre la désertification en Syrie. In : sols, INA Paris-Grignon 14 : 39-70.
- Needelman B.A., Wander M.M., Bollero G.A., Boast C.W., Sims G.K. et Bullock D.G. 1999.** Interaction of tillage and soil texture: Biologically active soil organic matter in Illinois. *Soil Science Society of America Journal* 63:1326.
- Nouiri I., M'hedbi K., ben hamouda M., Kammassi M., Neit el Arbi S., Ali Hannachi M., Guesmi L., Mannai C. et Hajji S. 2004.** Etude comparative de l'humidité des horizons du sol entre le semis direct et le semi conventionnel. Actes des deuxiemes rencontres méditerranéennes sur le semis direct.
- Nuutinen V. 1992.** Earthworm community responses to tillage and residue management on different soil types in southern Finland. *Soil Tillage Res.* 23, 221–239. (doi:10. 1016/0167-1987(92)90102-H)

- Oades J.M. 1993.** The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma*, **56**, 377-400.
- Oades J.M. 1998.** Particulate Organic Matter. In Humic Substances Downunder : Understanding and managing organic matter in soils, sediments and waters. 9th International meeting of the International Humic substances society, 20- 25 September, 1998. Adelaide, Australia.
- Oorts K. 2006.** Effect of tillage system on soil organic matter stocks and C and N fluxes in cereal cropping systems on a silt loam soil in Northern France, PhD thesis, Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris.
- Ouattara B., Sédogo M.P., Assa A., Lompo F., Ouattara K. et Fortier M. 1998.** Modifications de la porosité du sol après trente-trois années de labour d'enfouissement de fumier au Burkina Faso, *Cahiers Agricultures* Vol 7 : pp.9-14.
- Pachepsky Y.A. et Rawls W.J. 2003.** Soil structure and pedotransfer functions. *European Journal of Soil Science*, **54**, 443-451.
- Pekrun C., Kaul H.P. et Claupein W. 2003.** Soil tillage for sustainable nutrient management. In El Titi, A. (ed.), *Soil tillage in agroecosystems*, CRC Press, New-York (USA), pp. 83-113.
- Perrier A. 1973.** «Bilan hydrique de l'assolement Blé-jachère et évaporation d'un sol nu, en région semi-aride», Réponses des plantes aux facteurs climatiques, Actes Coll. Upsala, 1970 (Ecologie et conservation, 5), 477- 487.
- Peterson G.A. et Frye W.W. 1989.** Fertilizer nitrogen management, pp. 183-219 in R.F. Follet (ed), Nitrogen Management and Groundwater Protection, Elsevier Science Publ., Amsterdam, Hollande. 395 p.
- Piccolo A. 1996.** Humus and soil conservation p 225-264. in A. Piccolo (Ed). Humic substances in terrestrial ecosystems. Elsevier Science B.V., Australia.
- Piccolo A. et Joe S.C. Mbaywn 1999.** Role of hydrophobic components of soil organic matter in soil aggregate stability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **63**: 1801-1810.
- Pierce F.J., Fortin M.C. et Staton M.J. 1994.** Periodic plowing effects on soil properties in a no-till farming system. *Soil Science Society of America Journal*, **58**, 1782-1787.
- Power J.F. et Peterson G.A. 1998.** Nitrogen transformations, utilization, and conservation as affected by fallow tillage method. *Soil & Tillage Research*, **49**, 37-47
- Quirk J.P. 1978.** Some physico-chemical aspects of soil structural stability – A review. In W.W. Emerson, et al., (eds.) Modification of soil structure. John
- Rahali A. Makhlouf M. et Benkherbeche N. 2010.** Influence de l'itinéraire technique sur le type et le stock semencier du sol des mauvaises herbes, cas de la zone semi aride de Sétif. Actes du 4^{ème} rencontre méditerranéen du semis direct. Sétif, Algérie, du 3 à 5 mai 2010 p, 90-99.
- Randall G.W. et Iragavarapu T.K., 1995.** Impact of long term tillage systems for continuous corn on nitrate leaching to tile drainage. *Environ.Qual.*, **24**, 360-366.
- RaRoger-Estrade J., Richard G., Caneill, J., Boizard H., Coquet Y., Defossez P. et Manichon H. 2000.** Morphological characterisation of soil structure in tilled fields: from a diagnosis method to the modelling of structural changes over time. *Soil & Tillage Research*, **79**, 33-49.
- Rasmussen K.J. 1999.** Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: a Scandinavian review. *Soil & Tillage Research* **53**:3-14.
- Raunet M., Séguy L. et Fovet-Rabot C. 1999.** Semis direct sur couverture végétale permanente du sol: de la technique au concept. Rasolo, F. et M. Raunet (eds). In : Gestion agrobiologique des sols et des systèmes de culture. Actes de l'atelier international, Antsirabe, Madagascar, 23-28 Mars 1998. CIRAD, collection Colloques, Montpellier, pp :41-52.
- Reichardt W., Brioes A., de Jesus R. et Padre B. 2001.** Microbial population shifts in experimental rice systems. *Appl. Soil Ecol.* **17**, 151–163. (doi:10.1016/S0929- 1393(01)00122-6)

- Rhoton F.E., Bruce R.R., Buehring N.W., Elkins G.B., Langdale C.W. et Tyler D.D. 1993.** Chemical and physical characteristics of four soil types under conventional and no-tillage systems. *Soil & Tillage Research*, **28**, 51-61.
- Rieu C. 2001 a.** Les enjeux économiques de la simplification du travail du sol, Du labour au semis direct : enjeux Agronomiques, Conférence-débat INRA –ITCF, Salon International du Machinisme Agricole, février, p 21-22, pp 22
- Rieu C. 2001 b.** La simplification du travail du sol, moyen d'adaptation des systèmes d'exploitation: Simplifier? A quel prix..., Perspectives Agricoles, n°269, juin, p8-10
- Riley H.C.F., Bleken M.A., Abrahamsen S., Bergjord A.K. et Bakken A.K. 2005.** Effects of alternative tillage systems on soil quality and yield of spring cereals on silty clay loam and sandy loam soils in cool, wet climate of central Norway. *Soil Tillage Res.* **80**, 79–93. (doi:10.1016/j.still.2004.03.005)
- Roger-Estrade J., Richard G., Boizard H., Boiffin J., Caneill J., H.Roger-Estrade J., Richard G., Caneill J., Boizard H., Coquet Y., Defossez P., et Manichon H. 2004.** Morphological characterisation of soil structure in tilled fields: from a diagnosis method to the modelling of structural changes over time. *Soil & Tillage Research* **79**:33-49
- Roldan A., Caravaca F., Hernandez M.T., Garcia C., Sanchez-Brito C., Velasquez M. et Tiscareno M. 2003.** No-tillage, crop residue additions, legume cover cropping effects on soil quality characteristics under maize in Patzcuaro watershed (Mexico). *Soil Tillage Res.* **72**, 65–73. (doi:10.1016/S0167-1987(03)00051-5)
- Roose E. 1991.** Conservation des sols en zone méditerranéenne ; synthèse et proposition d'une nouvelle stratégie de lutte antiérosive : la GCES. *Cah. ORSTOM, ser. Pédol.* **26 (2)** : 145-181.
- Roose E., Arabi M., Brahamia K., Chebbani R., Mazour M. et Morsli B., 1993.** Erosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne algérienne. Réduction des risques érosifs et intensification sur la production agricole par la GCES: synthèse des campagnes 1984-1995 sur un réseau de 50 parcelles d'érosion. *Cahier ORSTOM, série pédologie*, **28(2)** : 289-308.
- Roose E., 1994.** Introduction à la GCES. *Bulletin pédologique FAO* **70**, 420 P.
- Ryan 1982.** A perspective on soil erosion and conservation in Lebanon. Publication 69, American University of Beirut, 15-38.
- Saber N. et Mrabet R. 2002.** Impact of no-tillage and crop sequence on selected soil quality attributes of a vertic calcixeroll soil in Morocco. *Agronomie* **22**:451-459.
- Salitot G. 2001.** Le non labour dans l'Oise : Etude des pratiques actuelles, effets de la structure du sol et conséquences sur le développement du maïs, mémoire d'ingénieur des techniques de l'agriculture, ITIA, pp 49+ annexes
- Sasal M.C., Andriulo A.E. et Taboada M.A. 2006.** Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinian Pampas. *Soil & Tillage Research*, **87**, 9-18.
- Scheiner J.D. 2005.** Spéciation du carbone, de l'azote et du phosphore de différents boues de stations d'épuration au cours de leurs incubations contrôlées dans deux types de sol, Thèse de doctorat, 20-24p.
- Sébillote M., Allain S., Doré T., Meynaud J.M. 1993.** La jachère et ses fonctions agronomiques, économiques et environnementales. *Diagnostic actuel. Le Courrier de l'Environnement*, **20**, 1-12.
- Sharpley A. N. et Smith S.J. 1994.** Wheat tillage and water quality in the Southern Plains. *Soil & Tillage Research*, **30**, 33-48.
- Sharpley A.N. 2003.** Soil mixing to decrease surface stratification of phosphorus in manured soils. *Journal of Environmental Quality* **32**: 1375-1384
- Shipitalo M.J. et Protz R. 1987.** Comparison of morphology and porosity of a soil under conventional and zero tillage. *Canadian Journal of Soil Science*, **67**, 445-456.
- Six J., Feller C., Denef K., Ogle S.M., Sa J.C.M. et Albrecht A. 2002.** Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils: effects of no-tillage. *Agronomie*, **22**, 755-775.
- Soltner, 2005 :** les bases de la production végétale, tome 1 : le sol et son amélioration.

- Soon Y.K. et Arshad M.A. 2005.** Tillage and liming effects on crop and labile soil nitrogen in an acid soil. *Soil Tillage Res.* 80, 23–33. (doi:10.1016/j.still.2004.02.017)
- Spedding T.A., Hamel C., Mehuys G.R. et Madramootoo C.A. 2004.** Soil microbial dynamics in maize-growing soil under different tillage and residue management systems. *Soil Biology & Biochemistry* 36:499-512.
- Spiess E., Walter Richner., Agroscope FAL Reckenholzstr. 2005,** CH-8046 Zurich les cahier de la FAL (57)
- Steinsiek J.W., Oliver L.R. et Collins F. 1982.** Allelopathic potential of wheat (*Triticum aestivum*) straw on selected weed species. *Weed Sci.* 30, 495–497.
- Stengel P., Douglas J.T., Guérif J., Goss M.J., Monnier G. et Cannell R.Q. 1984.** Factors influencing the variation of some properties of soils in relation to their suitability for direct drilling. *Soil & Tillage Research*, 4, 35-53.
- Stockfish N., Forstreuter T et Ehlers W. 1999.** Ploughing effects on soil organic matter after twenty years of conservation tillage in Lower Saxony. Germany. *Soil Tillage Res.* 52:91-101.
- Stoddard C.S., Grove J.H, Coyne M.S. et Thom W.O. 2005.** Fertilizer, tillage, and dairy manure contributions to nitrate and herbicide leaching. *Environ. Qual.*, 34, 1354-1362.
- Suwardji P. et Eberbach P.L. 1998.** Seasonal changes of physical properties of an Oxic Paleustalf (Red Kandosol) after 16 years of direct drilling or conventional cultivation. *Soil & Tillage Research*, 49, 65-77.
- Tebrügge F. et Düring R.A. 1999.** Reducing tillage intensity -- a review of results from a long-term study in Germany. *Soil and Tillage Research* 53:15-28.
- Tebrügge F. 2001.** No-tillage visions- protection of soil, water and climate and influence on management and farm income, I world congress on conservation agriculture - volume 1 : keynotes contributions, pp303-316
- Tisdall J.M. et Oades J.M. 1982.** Organic matter and water stable aggregates in a soils. *J. Soil.Sci.* 33 : 141-164.
- Tuesca D., Puricelli E. et Papa J.C. 2001.** A long-term study of weed flora shifts in different tillage systems. *Weed Res.*, 41 : 369-382.
- Unger P.W., Langdale D.W. et Papendick R.I. 1988.** Role of crop residues improving water conservation and use. Cropping strategies for efficient use of water and nitrogen, vol. 51 (ed. W. L. Hargrove), pp. 69–100. Madison, WI: American Society of Agronomy.
- Unger P.W. 1994.** Managing agricultural residues. Lewis Publishers, NY. USA.
- Unger P.W. et Jones O.R. 1998.** Long-term tillage and cropping systems affect bulk density and penetration resistance of soil cropped to dryland wheat and grain sorghum. *Soil & Tillage Research*, 45, 39-57.
- Van Doran J.R. et Allmaras R.R. 1978.** Effect of residue management practices on soil physical environment, microclimate and plant growth. In Crop residue management systems (ed. W. R. Oschwald), ASA special publication 31, pp. 49–83. Madison, WI: American Society of Agronomy.
- Vanden Bygaart A.J., Protz R., Tomlin A.D. et Miller J.J. 1999.** Tillage system effects on near-surface soil morphology: observations from the landscape to micro-scale in silt loam soils of southwestern Ontario. *Soil & Tillage Research*, 51, 139-149.
- Viaux P. 1999.** Une 3ème voie en Grande Culture : Environnement, Qualité, Rentabilité, Editions Agridécisions, 211p
- Vulioud P., Delabays N., Frei P. et Mercier E. 2006.** Résultats de 35 ans de culture sans labour à chagins. *Revue suisse. Agric.* 38 (2): 81-87.
- Wyss E. et Glasstetter M. 1992.** Tillage treatments and earthworm distribution in a Swiss experimental corn field. *Soil Biol. Biochem.* 24, 1635-1639
- Young I.M., Blanchart E., Chenu C., Dangerfield M., Fragoso C., Grimaldi M., Ingram J. et Monrozier L.J. 1998.** The interaction of soil biota and soil structure under global change. *Global Change Biology*, 4, 703-712.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Young I.M. et Ritz K. 2000.** Tillage, habitat space and function of soil microbes. *Soil and Tillage Research* 53:201-213.
- Young E. 2001.** Charges de structures: les rouages de la mécanisation, *Cultivar le Mensuel*, n°514, septembre, p26-28
- Zhu Y., Fox R.H. et Toth J.D. 2003.** Tillage effects on nitrate leaching measured by Pan and Wick Lysimeters. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67, 1517-1523.
- Zihlmann U., Chervet A., Müller M., Schafflützel R., Sturny W.G. et Weisskopf P., 2001.** Semis direct en grandes cultures. Effets sur la matière organique et les nutriments dans le sol. *Revue suisse Agric.* **33** (1), 21-25.

Annexe 01. Données climatiques de trois campagnes dans le site expérimental.

	2009/2010		2010/2011		2011/2012	
	P	T	P	T	P	T
Sept	44,6	23,43	78,6	19,4	3,4	21,02
Oct	42,04	17,16	13,1	15,1	45,2	15,94
Nov	27	9,49	28,8	11,2	47,8	10,01
Dec	37,2	6,34	33,6	7,3	20	6,73
Janv	69,3	6,86	36,2	6,1	13,3	6,74
Fev	41,3	6,65	46,5	7,3	121	5,42
Mars	27,5	8,92	44,7	9,9	33	8,9
Avril	78,2	12,73	52,1	12,9	83,8	14,14
Mai	3,4	22,01	67,4	14,2	33,8	14
Juin	6,8	26,12	17,8	21,4	17,4	18,99

Annexe 2. Analyse physico-chimique de différentes techniques culturales étudiées.

	N	P	K	Na	Ca	Mg	Carb tot	Ph	Conduct μ s
SDB	0,11	34,65	210,4	0,15	32,46	1,16	40,305	7,96	111
SDL	0,11	45,5	200,95	0,15	32,2	0,995	40,015	7,87	114
SDPO	0,11	34,45	207,4	0,18	33,77	1,115	38,485	7,92	117
TCSB	0,115	34,05	224,05	0,185	35,45	1,185	33,55	7,9	112
TCSL	0,105	38,75	206,5	0,16	32,47	1,025	41,975	7,875	110,5
TCSPO	0,115	33,55	212,7	0,21	33,08	1,055	38,455	7,885	120
TCB	0,11	36,35	201,5	0,145	32,09	0,96	32,735	7,835	130
TCL	0,11	30,8	203,05	0,175	32,64	1,045	30,87	7,91	106
TC3O	0,105	34,2	202	0,22	29,92	1,03	22,35	7,91	109,5

Annexe 3. Récapitulatif de description des profits cultureux effectués.

Critères de description	Semis direct	Travaux cultureux simplifiés	Travail cventionnel
Profondeur des horizons			
H1	0-18 cm	0-20 cm	0-15 cm
H2	18-30 cm	20-35 cm	15-35 cm
Transition avec horizon sous jacent			
Netteté	Très diffuse >20cm(H1) très nette<2cm (H2)	Très diffuse >20cm(H1) Très nette<2cm (H2)	Très diffuse >20cm tres nette<2cm
Régularité	régulière horizontale	régulière horizontale	ondulé H1 régulière(H2)
Humidite naturelle	peu sec(H1), frais(H2)	sec(H1), frais(H2)	sec(H1), frais(H2)
Couleur humide	(hue:5YR, value:3, chroma:4)	(hue: 2.5YR, value:3, chroma:4)	hue:2.5YR, value:4,chroma:3)
Couleur sec	(hue:5YR, value:4, chroma:4)	(hue: 2.5YR, value:3, chroma:4)	(hue:2.5YR, value:5, chroma:6)
Taches			
abondance	2 à15% H1 15 à 30cm H2 (Hue:5YR, value:8, chroma:2)	2 à15% H1 15 à 30cm H2 (Hue:2.5YR, value:4, chroma:4(H1), 6(H2))	quelques taches Taches 2 à15% (Hue:2.5YR, value: 4, chroma: 4 (H1) 6 (H2))
forme	Arrondie à allongée	Arrondie à allongée	Arrondie à allongée
distribution	homogène	Homogène	Homogène
Matière organique	non directement détectable	non directement détectable	non directement détectable
Eléments calcimagnisiques			
effervescence	vive effervescence	vive effervescence	vive effervescence
répartition	généralisée	généralisée	généralisée
nature	éléments carbonatés	éléments carbonatés	éléments carbonatés
forme	nodules friables	nodules friables	nodules friables
Eléments grossiers			
gravier	peu abondant 2 à 15 %	abondant 15 à 30 %	peu abondant 15 à 30 %
cailloux	très peu de graviers< 2%	très peu de graviers< 2%	très peu de graviers< 2%
blocs	très peu de graviers< 2%	très peu de graviers< 2%	très peu de graviers< 2%
formes dominantes	irrégulière, arrondie, allongée	irrégulière, allongée	irrégulière, arrondie
arêtes	anguleux	anguleux	anguleux
altération	altérés	altérés	altérés
Texture	limoneux-argileux	limoneux-argileux	limoneux argileux
Structure	fragmentaire	fragmentaire	fragmentaire
forme et taille des fragments	arrondie à anguleux, 2mm à 2 cm	(arrondie à anguleux, 2mm à 2 cm)	arrondie à anguleux, 2mm à 2 cm)
surface des agrégats	irrégulière	irrégulière	irrégulière
force de glissement et de pression	moyenne	peu de pression	faible
Activité biologique			
racines			
abondance et grosseur	nombreux racines fine (H1) à très fine (H2)	nombreux racines fine (H1) à très fine (H2)	très nombreux racines très abondante, fine (H1) à très fine (H2)
animaux	quelques galeries débris coquille vers de terre	quelques galeries	galerie débris de coquilles, cavités
Action biologique globale			
Porosité	moyenne	moyenne	forte
Propriétés mécaniques	importante	assez importante à importante	importante
adhésivité	collant à très collant	collant à très collant	collant à très collant
plasticité	plastique	plastique	plastique
friabilité	friable	peu friable	très friable
fragilité	peu fragile	peu fragile	fragile
cohésion	compact	peu compact	meuble, peu compact

H1 : Horizon 1. H2 : Horizon 2.

Annexe 4. Quelques étapes de description du profil culturel.



ملخص

أجريت هذه الدراسة في الموقع التجريبي للمعهد التقني للمحاصيل الكبرى بسطيف سنة 2010/2011 بهدف توضيح أثر ثلاثة أنواع من خدمة التربة (بذر مباشر، التقنيات المبسطة، الحرث التقليدي) مرفقة بثلاثة أنواع من تتابع المحاصيل على خصوبة التربة و سلوك النبات خلال السنة الثالثة من التطبيق في منطقة شبه جافة. أوضحت النتائج أن التقنيات الحافظة (بذر مباشر، التقنيات المبسطة) تحافظ على رطوبة التربة في الطبقة السطحية (0-20 سم) و تحسن أيضا نسبة الكربون الكلي في التربة متفوقة على الحرث التقليدي، البذر المباشر له الأفضلية في تحسين نسبة الفوسفور في التربة، يزيد من كثافتها الحجمية و يخفض من نفاذية التربة للمياه على عكس الحرث التقليدي. التقنيات المبسطة لخدمة التربة تحتل مكانا وسطا بين البذر المباشر و الحرث التقليدي. تتابع قمح/قمح/قمح يحسن من نسبة البوتاسيوم في التربة و التتابع عدس/قمح/عدس يحسن من نسبة الفوسفور في التربة. في ما يخص الجانب النباتي الدراسة تظهر نتائج محتشمة و متغيرة من تقنية إلى أخرى، العدد الإجمالي للأعشاب الضارة جد مرتفع بالنسبة للبذر المباشر و خاصة منها أحاديات الفلقة. التقنيات المبسطة لخدمة التربة الأكثر اكتساحا من طرف الأعشاب الضارة ثنائية الفلقة. التتابع قمح/قمح/قمح الأكثر عرضة للأعشاب الضارة.

كلمات مفتاحية: خدمة التربة- بذر مباشر- خصوبة التربة- قمح - شبه جاف- تتابع المحاصيل.

Résumé

L'expérimentation a été réalisée au site expérimental de la station de l'ITGC de Sétif au cours de la campagne 2010/2011. Notre étude a pour objectif de montrer l'effet de trois types de travail du sol (semis direct (SD), travaux culturaux simplifiés (TCS), travail conventionnel (TC)) associés à trois types de succession de cultures sur la fertilité du sol et le comportement de la culture à la troisième année de pratique. Les résultats indiquent que les techniques conservatrices (SD, TCS) conservent l'humidité du sol à 0-20 cm et elles améliorent aussi le carbone total du sol mieux que le travail conventionnel (TC). Le SD présente un avantage pour le phosphore dans le sol, augmente la densité apparente et diminue la vitesse d'infiltration contrairement au TC qui diminue la densité apparente et augmente la vitesse d'infiltration, les TCS se placent en position intermédiaire. La succession blé/blé/blé améliore le taux du potassium dans le sol alors que la succession lentille/blé/lentille améliore le niveau du phosphore. Sur le plan végétal les résultats sont timides et variable d'un travail du sol à un autre. Le nombre total de mauvaises herbes est plus élevé chez le semis qui se caractérise surtout par les monocotylédones. Les TCS sont les plus envahis par les dicotylédones. La succession de blé/blé/blé est la plus envahie par les mauvaises herbes.

Mots clés : Pratiques culturales - semis direct-fertilité du sol-blé-semi-aride-succession de cultures.

Abstract

The experimentation was conducted in the experimental site of the field crop institute (ITGC) of Sétif during the 2010/2011 cropping season. Our study has objective to show the effect of three tillage types: no-tillage (NT), minimum tillage (MT) and conventional tillage (CT), associated with three types of crops succession on soil fertility and crops behaviour at the third year of practice. The results indicate that the conservative techniques (NT, MT) preserve the soil moisture in 0-20 cm of depth, and they improve soil total carbon better than the conventional tillage (CT). The NT presents an advantage for the soil phosphorus, increases the bulk density and decreases the hydraulic conductivity unlike the TC, which decreases the bulk density, and increase the hydraulic conductivity, MT takes intermediate position. The succession wheat / wheat / wheat improve the soil potassium level while the succession lens / wheat / lens improve the phosphorus soil level. Concerning plant, the results are timid and variable from tillage type to the other one. The total number of weed is more raised at NT witch characterized by the monocotyledons. The MT is the most invaded by dicotyledonous. The succession of wheat / wheat / wheat is the most invaded by weed.

Key words: Cropping systems, no-tillage-soil fertility- wheat-semi-arid-succession of crops.