

UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA

Faculté des sciences agrovétérinaires et biologiques

Département d'agronomie

MEMOIRE DE MAGISTER

En Sciences Agronomiques

Spécialité : Amélioration des productions végétales

**INFLUENCE DES SYSTEMES DE CULTURES ET DES ROTATIONS
SUR LE SOL ET LE VEGETAL EN ZONE SEMI-ARIDE.**

Par

Zohra DJAIDJA

Devant le jury composé de :

A. Benrima	Professeur, U.S.D. Blida	Président
A. Boutekrabt	Professeur, U.S.D. Blida	Promoteur
F. Z. Benrebiha	Professeur, U.S.D. Blida	Examinatrice
Z. E. Djazouli	M.C.A., U.S.D. Blida	Examineur
A. Makhoulf	M.C.B., U.F.A. Sétif	Examineur

Blida, Juin 2013

RESUME

L'expérimentation a été conduite sur le site de la Station Expérimentale Agricole de l'Institut Technique des Grandes Cultures de Sétif durant la campagne agricole 2011/2012, avec comme objectif l'étude de l'effet des deux systèmes de cultures (Travail conventionnel et Semis direct) et du précédent cultural (lentille et blé) sur les caractéristiques du sol et le comportement de la culture du blé dur (*Triticum durum* Desf) variété Bousselam sous conditions semi-arides.

Les résultats indiquent que la densité apparente du sol est plus élevée en non labour comparativement à ce qu'elle du labour conventionnel, qui présente une meilleure perméabilité, dont l'eau s'infiltré dans le sol environ deux fois de plus. La présence d'une légumineuse comme précédent joue un rôle positif dans ce sens, et elle améliore la perméabilité du sol comparativement à celle d'une céréale. Ces résultats sont confirmés par les valeurs obtenues par la mesure de la résistance pénétrométrique, montrant ainsi que le sol des parcelles conduites sous semis direct est plus compact que celui des parcelles menées en travail conventionnel. Le non labour présente une meilleur teneur en matière organique notamment au niveau de l'horizon de surface suite à l'accumulation progressive des résidus des cultures précédentes en surface du sol au fil des années. Le travail conventionnel présente une meilleure hauteur de la végétation, un plus grand nombre d'épis/m², et des écarts positifs pour le rendement biologique et le rendement grains. Le semis direct garde l'avantage d'un poids de 1000 grains plus élevé mais présente l'inconvénient d'un taux d'infestation par les mauvaises herbes plus marqué. Les résultats montrent également quelques différences entre les deux systèmes pour le précédent cultural, ce qui laissent apparaître que le précédent cultural lentille influe positivement à la fois sur les propriétés du sol et le rendement et ses composantes.

Mots clés : Semis direct, travail conventionnel, précédent cultural, blé dur, rendement et composantes.

ABSTRACT

The experiment was conducted at the Agricultural Experimental Station of the Field Crop Institute of Setif during the crop year 2011/2012, with the objective to study the effect of two cropping systems (Conventional tillage and No till) and crop precedent (Lens and wheat) on soil characteristics and performance of durum wheat (*Triticum durum* Desf) Bousselam variety under semi arid conditions.

The results indicated that no-till had higher bulk density compared to conventional tillage which had better permeability, whose water infiltrates in the soil approximately twice moreover. Use of leguminous as precedent crop plays a positive role in this direction, and it improves the soil permeability compared to that of a cereal. These results were confirmed by the values obtained by the measurement of penetrometric resistance, showing as well as that soil of lands under direct drilling is more compact than that of lands carried out in conventional tillage. No till had better content of organic matter particularly at the level of the horizon of surface following the progressive accumulation of the precedent crop residues on the soil surface with the passing of years. Conventional tillage had higher plant height, number of spike per square meter, and improved largely grain and biological yields. Direct drilling kept the advantage of heavier 1000 kernel weight but showed a high rate of weed infestation. The results also showed some differences for the crop precedent at both the two systems, which let appear that lens as crop precedent had influenced positively both on the soil properties and yield and its components.

Key words: No till, conventional tillage, crop precedent, durum wheat, yield and yield components.

ملخص

أنجزت هذه التجربة على مستوى محطة الأبحاث الزراعية للمحاصيل الكبرى بسطيف خلال الموسم الزراعي 2012/2011 وذلك بهدف دراسة تأثير نوعين من تقنيات خدمة الأرض (البذر التقليدي و البذر المباشر) وبقايا المحصول السابق (عدس، قمح) على خصوصيات التربة و سلوك محصول القمح الصلب (*Triticum durum Desf*) صنف بوسلام تحت الظروف شبه الجافة.

أظهرت النتائج أن كثافة ظاهرية التربة كانت أكبر عند البذر المباشر مقارنة بنظيرتها عند البذر التقليدي، الذي يظهر أحسن نفاذية للماء داخل التربة بنحو مرتين. وجود البقول كمحصول سابق يلعب هو الآخر دور ايجابي في هذه الخاصية بالمقارنة مع القمح. كما عززت هذه النتائج بالقيم المحصل عليها عند قياس المقاومة البيئيترومتريّة مبيّنة أن تربة القطع المعاملة بالبذر المباشر كانت أكثر تماسكا مقارنة بنظيرتها عند البذر التقليدي. أظهر البذر المباشر محتوى أكبر من المادة العضوية خاصة على مستوى سطح التربة، و هذا بسبب التراكم التدريجي لبقايا المحاصيل بمرور السنوات. كما أظهر البذر التقليدي نباتات ذات طول أكبر، أكثر عدد للسنابل في المتر المربع و فوارق ايجابية بالنسبة للكتلة الإحيائية و الردود الحبي. بينت النتائج أن البذر المباشر يحتفظ بأفضلية وزن 1000 حبة غير أنه يظهر سلبية تعرض أكبر للأعشاب الضارة. أظهرت النتائج أيضا بعض الفروقات بين النوعين من تقنيات خدمة الأرض فيما يخص المحصول السابق و هذا ما يترك انطبعا ايجابيا لمحصول العدس الذي أثر بشكل ايجابي على خصائص التربة من جهة و المردود و مركباته من جهة أخرى.

الكلمات المفتاحية : بذر مباشر، بذر تقليدي، محصول سابق، قمح صلب، المردود و مركباته.

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à rendre grâce à « **ALLAH** » tout puissant, de m'avoir donné la force nécessaire pour mener à bien ce travail.

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer toute ma reconnaissance et remerciements à mon Encadreur, Monsieur Ammar BOUTEKRABT, professeur au département des sciences agronomiques de l'université de Blida qui a fait preuve d'une grande patience à mon égard et a été d'un grand apport pour la réalisation de ce travail.

Je tiens aussi à exprimer mes plus grands respects et mes vifs remerciements au Professeur A. BENRIMA pour l'honneur qu'elle me fait en acceptant de présider le jury.

Mes remerciements les plus profonds aux Professeur F. Z. BENREBIHA, Docteur Z. E. DJAZOULI et Docteur MAKHLOUF A., qui ont bien voulu examiner ce travail.

Un grand merci au directeur et toute l'équipe de l'ITGC de Sétif, qui m'ont bien aidé et accueilli durant la réalisation de ce travail.

Mes remerciements s'adressent également au personnel de l'INRAA de Sétif, particulièrement Mr A. HANNACHI, Mr Z. FELLAHI, et B. FERTAS qui ont apporté une contribution à la réalisation de ce travail.

Pour la réalisation de ce travail, je voudrai remercier Mr R. BOUKHADRA et sa fiancée S. CHENNI pour leur participation active dans notre travail.

Enfin, je remercie tous ceux qui m'ont aidé à réaliser ce travail.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail :

***A** la mémoire de mes grands parents.*

***A** mes très chers parents soucieux de ma réussite, pour leur incitation à avancer dans tous ce que j'entreprends et pour tous les sacrifices qu'ils ont consentis pour mon instruction, qu'ils trouvent ici l'accomplissement de leurs vœux. Que Dieu les garde et les entoure de sa bénédiction.*

***A** mon très cher mari Hamza, à qui je ne saurais jamais exprimer toute ma reconnaissance, qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude ainsi que toute sa famille sans oublier notre adorable Narjess.*

***A** mes frères et sœurs qui m'ont soutenue tout le temps.*

***A** ma grande sœur et son époux Hamza et nos adorables Youcef et Yahia.*

***A** mes oncles et tantes, cousins et cousines, ainsi qu'à toute ma famille.*

***A** mes amies : Fatiha, Souad, Zahia, Zahra, Fahima, Sonia et Hiba.*

***A** mes collègues de la promotion de Magister.*

***A** tous mes enseignants.*

***A**insi qu'à toute personne qui m'est chère.*

Zohra

TABLE DES MATIERES

RESUME	
ABSTRACT	
ملخص	
REMERCIEMENTS	
DEDICACES	
TABLE DES MATIERES	
Liste des illustrations, graphiques et tableaux	
Liste des abréviations	
INTRODUCTION	13
CHAPITRE 1 : CERÉALICULTURE	
1.1. Généralité sur la céréaliculture.....	15
1.2. Importance de la culture de blé.....	15
1.3. Classification du blé dur (<i>Triticum durum</i> Desf.).....	16
1.4. Culture du blé dur.....	16
1.4.1. Dans le monde.....	16
1.4.2. En Algérie	18
1.5. Conduite de la céréale sur les hautes plaines sétifiennes.....	19
CHAPITRE 2 : CONTRAINTES A LA PRODUCTION DU BLE	
2.1. Contraintes climatiques.....	21
2.2. Contraintes techniques.....	25
CHAPITRE 3 : TECHNIQUES CULTURALES DE TRAVAIL DU SOL	
3.1. Généralités.....	27
3.2. Techniques conventionnelles.....	29
3.3. Techniques Culturelles Simplifiées (TCS).....	31
3.3.1. Différentes formes de travail du sol simplifié.....	31
3.3.1.1. Travail minimum (5-10cm).....	31
3.3.1.2. Semis direct base de l'agriculture de conservation.....	32
3.3.1.2.1. Avantages de la technique du semi-direct.....	34

3.3.1.2.2. Inconvénients de la technique du semi-direct.....	35
3.4. Comparaison entre deux techniques de travail du sol.....	35
3.5. Effets des techniques culturales sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol.....	36
3.6. Effet du travail du sol sur le rendement du blé dur.....	42
3.7. Rôle des racines et leur évaluation dans le travail du sol.....	42
3.7.1. Influence de la résistance du sol sur la pénétration et la croissance des racines.....	43

CHAPITRE 4 : MATERIELS ET METHODES

4.1. Objectif de l'essai.....	45
4.2. Site expérimental.....	45
4.3. Matériel végétal	46
4.4. Traitements et dispositif expérimental.....	46
4.5. Techniques et méthodes de mesure.....	47
4.6. Evaluation de la densité des mauvaises herbes.....	53
4.7. Analyse statistique.....	53

CHAPITRE 5 : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

5.1. Caractéristiques du climat de la campagne d'étude.....	54
5.2. Effet du travail du sol et du précédent cultural sur les propriétés du sol.....	56
5.3. Effet du travail du sol et du précédent cultural sur l'installation de la culture..	66
5.4. Effet de différents traitements sur la densité des mauvaises herbes.....	79
5.5. Analyse de corrélation entre paires de caractères	81
5.6. Analyse en composantes principales.....	82

CHAPITRE 6 : DISCUSSION GENERALE

CONCLUSION	96
APPENDICES	98
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	106

LISTE DES ILLUSTRATIONS, FIGURES ET TABLEAUX

Figure 2.1	Évolution des précipitations et des rendements des céréales à l'Est du Montana, Etats-Unis.....	24
Figure 3.1	Influence des techniques de travail du sol sur les stocks de la matière organique.....	39
Figure 4.1	Schéma du dispositif expérimental.....	46
Figure 4.2	Mini-infiltromètre à disque et Disque en acier inoxydable.....	49
Figure 5.1	Courbes ombrothermiques caractérisant la pluviométrie et la température des deux dernières campagnes et la moyenne des 15 années enregistrées sur le site ITGC de Sétif.....	54
Figure 5.2	Variation de l'humidité du sol du premier horizon.....	58
Figure 5.3	Variation de l'humidité du sol des deux derniers horizons.....	59
Figure 5.4	Variation de la densité apparente du sol pour les deux précédents et les deux techniques culturaux.....	61
Figure 5.5	Variation de la perméabilité du sol pour les deux précédents et les deux techniques culturaux.....	62
Figure 5.6	Variation de la résistance pénétrométrique du sol en relation avec le mode de semis et le type de précédent.....	63
Figure 5.7	Taux moyen de la matière organique de chaque horizon en relation avec la profondeur pour les deux techniques combinées avec les deux précédents culturaux.....	64
Figure 5.8	Teneur relative en eau de différents traitements étudiés.....	67
Figure 5.9	Taux de chlorophylle présente dans les feuilles en unité SPAD des différents traitements étudiés.....	68

Figure 5.10	Variation de la température cumulée du semis et à l'épiaison en fonction du système de culture.....	69
Figure 5.11	Nombre de pieds levés par mètre carré pour les différents traitements étudiés.....	70
Figure 5.12	Indice de tallage de différents traitements étudiés.....	71
Figure 5.13	Hauteur de la tige de différents traitements étudiés	72
Figure 5.14	Nombre des épis élaborés par mètre carré de différents traitements étudiés.....	73
Figure 5.15	Nombre de grains par épis des différents traitements étudiés...	74
Figure 5.16	Poids de mille grains de différents traitements étudiés.	75
Figure 5.17	Rendement en grains de différents traitements étudiés.....	76
Figure 5.18	Rendement biologique de différents traitements étudiés.....	77
Figure 5.19	Rendement en en paille de différents traitements étudiés.....	78
Figure 5.20	Indice de récolte de différents traitements étudiés.....	78
Figure 5.21	Densité des mauvaises herbes des différents traitements étudiés	79
Figure 5.22	Evolution du rendement en grains vis-à-vis de la densité des mauvaises herbes des différents traitements étudiés.....	80
Figure 5.23	Relation entre le rendement en grain et la biomasse aérienne d'une part et entre le rendement en grain et le nombre de plants levés par m ² d'autre part.....	82
Figure 5.24	Analyse en composantes principales de l'axe 1 et 2 des variables mesurées.....	84
Tableau 1.1	Production de blé dans le monde en 2010.....	17
Tableau 1.2	Accroissement des superficies, rendements, productions et importations du blé dur en Algérie.....	19
Tableau 3.1	Avantages de la technique du semis direct.....	34

Tableau 3.2	Comparaison entre le labour conventionnel et le semis direct....	35
Tableau 5.1	Moyennes et résultats de l'analyse de la variance de l'état de l'humidité par rapport au précédent cultural et au mode de semis	57
Tableau 5.2	Moyennes et résultats de l'analyse de la variance des propriétés liées au sol.....	61
Tableau 5.3	Valeurs moyennes de la teneur relative en eau, la chlorophylle et la température cumulé à l'épiaison.....	66
Tableau 5.4	Valeurs moyennes des caractères agronomiques de la culture de blé dur pour les différents traitements.....	70
Tableau 5.5	Valeurs moyennes des rendements de la culture de blé dur pour les différents traitements.....	75
Tableau 5.6	Valeurs moyennes du nombre de plants des mauvaises herbes des différents traitements étudiés.....	79
Tableau 5.7	Coefficients de corrélation (en dessous) et probabilité (en dessus) entre les variables mesurés chez le végétale.....	81

LISTE DES ABREVIATIONS

AC : Agriculture de Conservation.

FAO: Food and Agricultural Organization (Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture).

ICARDA: International Center for Agricultural Research in Dry Area (Centre International de Recherches Agronomiques dans les Zones Arides).

ITGC: Institut Technique des Grandes Cultures.

MADR : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.

MO : Matière Organique.

ONM : Office National de Météorologie.

SD : Semis Direct.

SEA : Station Expérimentale Agricole.

TC : Travail Conventionnel.

TCS : Technique Cultural Simplifier.

TRE : Teneur Relative en Eau.

INTRODUCTION

Les données du problème auquel la céréaliculture algérienne fait face n'ont pas fondamentalement changé. Elle est essentiellement pluviale et soumise à des régimes pluviométriques variable et généralement faible. Les sols sont généralement peu fertiles, peu productifs et portant une couverture végétale très éparse. Dans les régions arides et semi-arides, la recherche d'une meilleure productivité agricole s'est faite grâce à l'intensification des systèmes de production. Cette intensification s'est matérialisée sous forme d'inputs de plus en plus complexes et d'une production minière des sols [1]. Cependant, ce mode de production est accompagné de nombreux effets négatifs sur l'environnement, ce qui a conduit à sa remise en question dans de nombreuses régions du monde [2].

La recherche d'alternatives plus respectueuses de l'environnement et de l'outil de production de l'agriculteur est devenue une nécessité et une urgence [3]. S'il paraît difficile d'agir sur les facteurs naturels, force est de constater que la maîtrise des facteurs techniques (rotation des cultures, intrants et mécanisation) palliera à ce problème [4].

Actuellement les techniques conventionnelles de production appliquées à la céréaliculture dans notre pays semblent atteindre leurs limites. Elles sont mises en cause dans les phénomènes d'érosions hydrique et éolienne, la destruction de la matière organique, la dégradation de la structure des sols et la stagnation voire la baisse des rendements qui n'a pas connu d'amélioration notable durant plus d'un demi-siècle [5 ; 6]. En effet, le travail conventionnel du sol adopté et réalisé en plusieurs passages à une faible profondeur conduit à la compaction des sols et à la fermeture de surface. Ces aspects morphologiques induisent une dégradation fonctionnelle des sols, une réduction de l'infiltration et un accroissement du ruissellement. Ces phénomènes sont accentués par la pratique de la jachère intégrale et la pratique systématique du labour profond suivi d'une multitude de façons superficielles nécessaires à l'affinement du lit de semences, qui augmentent les risques d'érosion dans des milieux déjà fragilisés [7].

Dans ce contexte, les agriculteurs et les chercheurs ont collaborés pour trouver d'autres solutions au travail conventionnel du sol, des moyens de cultiver qui perturbent moins le sol et réduisent donc l'érosion. L'agriculture de conservation est un nouveau concept d'exploitation agricole qui favorise l'équilibre entre une productivité optimale et une utilisation efficace et durable des ressources naturelles. Le système semis direct constitue la base de cette agriculture de conservation. Il apparaît comme une alternative à même de corriger l'impact négatif des systèmes de productions adoptés par les agriculteurs, en reposant sur la réduction des travaux du sol, le maintien des résidus en surface, le choix des rotations culturales et la gestion des cultures en fonction des potentialités de l'agro-écosystème en question [8 ; 9]. Il arrive aussi à mieux restructurer le sol sous l'effet d'une meilleure activité biologique [10]. Il se voit comme premier pilier pour restaurer la fertilité des sols et intéressant sous l'aspect économique [11]. Ce système de culture mérite donc d'être mieux étudié dans le contexte agro-climatique des régions semi-arides algériennes.

L'introduction des légumineuses dans les systèmes de culture offre aussi d'autres atouts environnementaux tels que l'enrichissement du sol, la réduction des maladies telluriques et des infestations d'adventices liées à la diversification des successions culturales [12] ainsi elle fournisse au bétail une nourriture particulièrement riche en protéine (20 %) [13].

C'est dans cette optique que notre étude tente de proposer des possibilités d'amélioration des rendements d'une culture de blé dur menée en semis direct et en travail conventionnel en combinaison avec deux précédents culturaux ; une légumineuse (Lentille) et une céréale (Blé dur), ainsi que leurs conséquences sur les propriétés physiques et hydriques du sol. Toutefois, quelques expériences récentes ont été initiées mais n'ont pas abouti à des résultats concluants, compte tenu de la durée des expérimentations. Donc la problématique qui s'impose se définit comme suit :

Comment peut-on choisir le système de culture adéquat et sur quels paramètres faut-il se focaliser le plus ?

CHAPITRE 1

CEREALICULTURE

1.1. Généralité sur la céréaliculture

La céréaliculture est une culture très importante dans la structure de la production agricole mondiale. Les céréales constituent de loin la ressource alimentaire la plus importante au monde à la fois pour la consommation humaine que l'alimentation du bétail. Le secteur des céréales est d'une importance cruciale pour les disponibilités alimentaires mondiales.

Quelle soit irriguée ou pluviale, la céréaliculture algérienne connaît de faibles rendements attribués entre autre à une maîtrise insuffisante de l'un des principaux facteurs de production à savoir la mécanisation des différentes étapes de l'itinéraire technique [07].

Bien que considérée comme relativement développée, la mécanisation de la céréaliculture algérienne ne répond que partiellement aux conditions édapho-climatiques. Cette technique à base de labour ; grande consommatrice d'énergie, est responsable également de la dégradation physique des sols et de l'environnement, ce qui peut menacer la durabilité même de l'agriculture [4].

1.2. Importance de la culture de blé

Le blé fait partie des trois grandes céréales avec le maïs et le riz. Il constitue avec le riz les produits les plus consommés par l'homme. Le blé est, dans la civilisation occidentale au Moyen Orient et en Afrique du nord, un composant central de l'alimentation humaine. La consommation de ce produit remonte à la plus haute antiquité. Les premières cultures apparaissent au VIII^e millénaire avant J-C, en Mésopotamie et dans les vallées du Tigre et de l'Euphrate (aujourd'hui l'Irak!), dans la région du croissant fertile. Le blé dur (*Triticum turgidum* L. *Durum*) est une culture importante dans l'environnement méditerranéen, elle est traditionnellement cultivée en conditions pluviales dans les zones marginales des

régions semi-arides. Le développement de cultivars de blé à haut rendement est le but principal des programmes d'amélioration dans le monde entier et en particulier en région méditerranéenne en raison de la faible quantité de précipitations et leur répartition irrégulière dans le temps et dans l'espace.

1.3. Classification du blé dur (*Triticum durum* Desf.)

Le blé appartient à la famille des *Poaceae*, qui comprend plus de 10.000 espèces différentes [14]. Le Blé dur (*T. turgidum* ssp. *Durum* Desf.) est une espèce allotétraploïde ($2n = 28$, AABB) qui a pour origine l'hybridation suivie par un doublement chromosomique entre *Triticum Urartu* (génome AA) et une espèce voisine d'*Aegilops speltoides* (génome BB) [15]. La domestication du blé diploïde s'est produite dans le nord du croissant fertile au Proche Orient. Le blé tétraploïde a été domestiqué dans le bassin du Jourdain, plus au sud. Le blé tétraploïde s'est diversifié dans les centres secondaires représentés par les plateaux éthiopiens, le bassin méditerranéen et la Transcaucasie [16].

1.4. Culture du blé dur

1.4.1. Dans le monde

Le blé dur occupe 8 à 10% du total des terres réservées aux blés dans le monde [17]. La production mondiale de tous types de blé est de 660 millions de tonnes lors de la campagne 2009-2010, c'est-à-dire près de 100 kg par habitant, pour l'ensemble de la population mondiale. En volume de production, c'est la quatrième culture mondiale derrière la canne à sucre, le maïs et le riz [18]. L'amélioration mondiale des techniques culturales et la sélection génétique ont conduit à un accroissement considérable des rendements moyens, passant de moins de 10 q/ha en 1900 à 29 q/ha en 2010. On pense désormais que la progression des rendements peut se poursuivre assez longtemps encore.

Tableau 1.1 : Production de blé dans le monde en 2010 [17].

Pays	Surface (hectares)	Rendement (Kg/Ha)	Production (tonnes)	% du total
Chine	24 210 075	4 748	114 950 296	16,9
Inde	28 400 000	2 841	80 680 000	11,8
Russie	26 632 900	2 318	6 739 750	9,1
Etats-unis	20 181 081	2 989	60 314 290	8,8
France	5 146 600	7 447	38 324 700	5,6
Canada	9 539 000	2 780	26 514 600	3,9
Allemagne	3 226 036	7 808	25 190 336	3,7
Pakistan	9 046 000	2 657	24 033 000	3,5
Australie	13 507 000	1 603	21 656 000	3,2
Ukraine	6 752 900	3 093	20 886 400	3,1
Turquie	8 026 898	2 566	20 600 000	3,0
Kasakhstan	14 329 400	1 190	17 052 000	2,5
Royaume-uni	1 814 000	7 927	14 379 000	2,1
Iran	6 647 367	2 029	13 484 457	2,0
Pologne	2 346 200	4 173	9 789 586	1,4
Egypte	1 321 751	6 448	8 522 995	1,2
Argentine	4 334 780	1 747	7 573 254	1,1
Ouzbekistan	1 400 000	4 741	6 637 700	1,0
Italie	1 795 500	3 532	6 341 000	0,9
Afghanistan	2 500 000	2 026	5 064 000	0,7
Espagne	1 767 800	2 713	4 796 800	0,7
Algérie	1 848 575	1 598	2 953 117	0,4
Monde	225 437 694	3 025	681 915 838	100,00

Le développement de l'irrigation, la réduction des pertes, l'amélioration des infrastructures (routes, capacités de stockage) constituent des moyens qui peuvent encore être mis en œuvre dans de nombreuses régions pour augmenter la production. La Chine vient au premier rang avec 16,9 % de la production mondiale, devant l'Inde (11,8 %), la Russie (9,1 %), les États-Unis (8,8 %) et la France (5,6 %) mais l'ensemble de l'Union Européenne à 27 est le premier producteur mondial avec 143 millions de tonnes en 2010. L'Amérique du Sud connaît des rendements stables avec 20 q/ha, l'Afrique et le Proche-Orient 10 q/ha

(avec une grande variabilité selon les années au Maghreb), l'Égypte et l'Arabie saoudite ont atteint, en culture irriguée, 35 à 40 q/ha. En Europe, des rendements très élevés sont obtenus en culture intensive. Le rendement moyen est passé de 30 à 60 quintaux par hectare durant les 30 dernières années, soit une progression moyenne de 1 quintal/ha/an. En France, les gains sont remarquables, la production actuelle s'élève à 100 quintaux/hectare chez les agriculteurs les plus performants. L'augmentation des rendements et des surfaces cultivées ont conduit à un fort accroissement de la production qui atteignait 275 millions de tonnes en 1965 et 600 en 1998. La courbe de la productivité dans les pays de culture intensive serait parvenue à un plateau, le débat n'est pas tranché (Tableau 1.1).

1.4.2. En Algérie

Le système céréales jachère occupe une superficie de 06 millions d'hectares soit 71% de la Surface Agricole Utile, sur les 06 millions d'hectares 3,3 millions d'hectares sont emblavés en céréales dont 1,2 millions d'hectares sont utilisés en zone potentielle et le reste soit 2,1 millions, est cultivée en zone fragile. Les superficies consacrées au blé dur ont été estimées en 2010 à 1.343.712 ha ; celles de blé tendre sont plus faibles avec 608.340 ha [19]. La production des céréales en 2010 a atteint 45.581.000 quintaux, selon la direction des statistiques au niveau du MADR [19], avec 20.385.000 quintaux de blé dur et 9.142.000 quintaux de blé tendre. Le rendement à l'hectare en céréales étant faible, atteignant les 14,14 quintaux/ha, l'Algérie ne pourra pas, du moins dans les quelques années à venir, se permettre une autosuffisance en céréales. Le volume des importations de l'Algérie pour le blé, durant l'année 2010 a atteint les 52.323.244 quintaux [19]. En 2009, il a été noté 56.963.771 quintaux contre 63.516.330 quintaux en 2008. L'Algérie importe plus de blé tendre que de blé dur ; sur la quantité globale importée, le volume de blé tendre a atteint 39.863.053 quintaux, contre 12.460.191 quintaux de blé dur (tableau 1.2).

Actuellement, le pays se classerait vers le 1^{er} rang mondial pour la consommation des céréales avec une moyenne dépassant largement les 200 kg/hab/an, comparativement à l'Égypte dont la moyenne est de 131 kg/hab/an et à la France dont la moyenne est de 98 kg/hab/an [20]. La croissance démographique, le changement de modèle de consommation et le soutien des

prix des produits de base, ont fait que le volume des céréales consommées a augmenté de 427%, entre 1961 et 2003, passant de 1,2 à 6,4 millions de tonnes [21]. Ceci place l'Algérie en première position avant l'Égypte et la Tunisie, pays qui connaissent eux aussi une forte pression de la demande alimentaire, notamment celle des céréales [22].

Tableau 1.2 : Accroissement des superficies, rendements, productions et importations du blé dur en Algérie [19].

	Superficie (ha)	Rendement (quintaux /ha)	Production (quintaux)	Importation (quintaux)
2000	1 485 830	09	04 863 340	41 475 300
2001	1 419 040	11	12 388 650	27 680 590
2002	1 350 740	12	09 509 670	35 616 250
2003	1 321 580	14	18 022 930	29 780 670
2004	1 372 495	15	20 017 000	33 504 190
2005	1 314 949	15	15 687 090	30 035 260
2006	1 357 987	15	17 728 000	20 777 580
2007	1 250 000	15	18 060 000	13 348 660
2008	1 230 601	13	09 350 000	19 827 220
2009	1 286 662	19,30	24 307 140	18 488 146
2010	1 343 712	15,17	20 385 000	12 460 191

1.5. Conduite de la céréale sur les hautes plaines Sétifiennes

Les Hautes Plaines Sétifiennes reçoivent entre de 250 et 400 mm de pluie annuellement. Cette région porte 175 milles hectares de céréales, 18 milles hectares de fourrages et 131 milles hectares de jachère [23]. Les céréales et les cultures fourragères sont conduites en pluvial. La céréale domine dans un système biennal avec la jachère. Avec ses différentes variantes, la jachère dure 16 mois, de juillet ; mois de la récolte de la céréale au mois de novembre ; période de semis de la céréale suivante qui vient après la jachère.

Les sols qui supportent la culture des céréales sur les hautes plaines sont variables. Ils sont argileux, faiblement carbonatés, de couleur noirs, dans la zone nord, devenant peu à peu dominés par le calcaire en allant vers le sud. On rencontre, en lien avec le réseau hydrographique, des sols bruns, profonds,

relativement bien structurés en profondeur [24]. Ces sols se caractérisent généralement par une structure de surface fragile et de faibles taux de matière organique de la couche travaillée [25].

La céréaliculture associée à l'élevage ovin semble avoir été de tout temps, la principale activité agricole des hautes plaines [26 ; 27]. Le système de culture est basé sur une rotation céréales-jachère [28]. La jachère est pratiquée sous diverses formes : jachère intégrale, jachère pâturée et jachère fauchée. Le système blé-jachère travaillée, inspiré du dry-farming est pratiqué surtout en zones nord et centre, qui sont relativement plus pluvieuses, offrant ainsi plus de sécurité et de régularité en matière de rendement grain [29 ; 30].

L'itinéraire technique du travail de la jachère consiste en un déchaumage après la récolte du blé, pour incorporer les chaumes. Un labour profond est fait en hiver pour ouvrir le sol aux pluies, suivi d'une série de passages croisés du cover-crop, destinée à créer un mulch terreux en surface et à limiter l'infestation des adventices [30]. Le succès du transfert d'eau d'une année à l'autre est étroitement lié à l'intensité de la sécheresse estivale et à la minutie de réalisation des techniques culturales appliquées à la jachère travaillée [31].

CHAPITRE 2

CONTRAINTES A LA PRODUCTION DU BLE

2.1. Contraintes climatiques

Le climat est un ensemble fluctuant d'éléments physiques, chimiques et biologiques caractérisant principalement l'atmosphère d'un lieu et dont l'action complexe influence l'existence des êtres qui sont soumis [32]. Selon cet auteur, les différents éléments du climat tels que les précipitations, l'évaporation, les températures, la lumière et le vent, agissent simultanément sur les végétaux. Les aléas climatiques peuvent avoir sur l'agriculture un impact négatif qui se traduit par une perte d'une partie ou de la totalité de la production de l'année ; un impact positif qui reflète une année particulièrement favorable. Ces effets globaux résultent à l'incidence des éléments du climat à chaque étape de l'élaboration de la production.

2.1.1. Précipitations

Une réduction de la quantité d'eau disponible influence le métabolisme et les processus physiologiques qui contrôlent la croissance et le développement de la plante. Ces derniers pouvant se répercuter sur les composantes du rendement.

Le régime pluviométrique est la contrainte essentielle de la céréaliculture cultivée en pluviale et en extensif, sans recours à l'irrigation surtout dans des étages climatiques arides et semi-arides. Dans ces zones, les céréales sont soumises durant leur développement à des situations de mauvaises alimentations hydriques qui peuvent intervenir à tout moment de leur cycle. La mauvaise répartition et la distribution irrégulière des précipitations dans le temps et dans l'espace imposent des déficits hydriques saisonniers qui sont à l'origine des faibles rendements. En effet, la céréaliculture algérienne est sujette à la variabilité du climat [33].

La variabilité des précipitations explique 75 % de la variation du rendement de blé [34]. La plupart des études réalisées, dans différentes régions du globe, montre que la limite inférieure de production en grains se situe à un niveau de

consommation en eau compris entre 200 et 210 mm et par conséquent en deçà de cette limite, le blé ne peut produire de grains [35]. L'effet d'un déficit hydrique est variable selon son intensité, sa durée et le stade de développement durant lequel il intervient. L'impact sur le rendement est fonction de la composante affectée et de la possibilité de compensation ultérieure par d'autres composantes [36]. Le manque d'eau au cours de la montaison réduit le nombre d'épis/m² et le nombre de grains/épi et affecte d'une manière indirecte le poids de mille grains (PMG) [37].

Pour lutter contre le manque d'eau dans les régions arides et semi-arides, le choix du système de travail du sol est préférable afin de favoriser la conservation des eaux et de retenir dans le sol le maximum d'humidité pour la culture. Ainsi, Adda [36], pense qu'il est opportun d'adopter des systèmes qui facilitent l'infiltration des eaux de pluie, retiennent la neige et ralentissent l'évaporation. Il est possible d'accroître la capacité d'infiltration en réduisant le ruissellement, en maintenant la couche superficielle du sol dans un état favorable à l'infiltration rapide et en retournant ou en brisant les couches du profil qui font obstacle à la pénétration de l'eau, d'où l'importance des techniques de préparation du sol.

Dans les zones sujettes à des déficits hydriques variables et souvent intenses, où l'eau devient le principal facteur limitant de la production des céréales, la technique du dry-farming propose de faire une production de blé avec les pluies de deux années ou plus [38]. La pluie infiltrée, lors de l'année de la jachère durant laquelle le sol n'est pas cultivé mais travaillé, est maintenue dans le profil par un mulch de terre qui l'empêche de s'évaporer [38].

2.1.2. Températures

A propos de la température, OUDINA [39] a cité deux autres phénomènes climatiques qui sont à craindre dans les zones céréalières. Il s'agit des gelées tardives, et des siroccos précoces pour l'ensemble des zones céréalières. Les températures varient considérablement autour du bassin méditerranéen en fonction de l'altitude, de l'éloignement de la mer [40]. Elles affectent directement la plante par leurs valeurs extrêmes, gelées ou coup de chaleur.

Les températures élevées provoquent une transpiration exagérée de la plante et par conséquent, une déshydratation rapide des cellules. Il risque d'y avoir

flétrissement de la plante surtout si le sol est sec [32]. D'après ELLIARD [32], les risques d'échaudage se manifestent à une température qui dépasse 30°C chez le blé au stade laiteux pâteux, pendant deux jours consécutifs sur un sol sec. Une température élevée durant la montaison limite aussi, le nombre de talles épi, tout en augmentant la quantité totale de matière sèche formée [41].

Les basses températures entraînent la mort de certains organes. Le gel entraîne la formation de cristaux de glace entre les cellules qui se déshydratent progressivement. Leur eau de constitution se déplace vers les espaces intercellulaires et une déshydratation trop poussée entraîne la mort des cellules [32]. En Algérie les gelées tardives touchent les céréales vers la fin du mois d'Avril et le début du mois de Mai, au stade floraison et provoquent l'avortement et/ou la coulure [42].

Les façons culturales permettent parfois de modifier la température du sol et d'avancer la date du semis, donc allonger la période de végétation [41].

2.1.3. Vents

Le vent est un élément important du climat. Il est comme le degré hygrométrique, un agent d'évaporation. En particulier, il risque d'augmenter les dégâts causés par l'échaudage [32]. Les siroccos précoces touchent les céréales en fin de cycle, période de remplissage du grain, et provoquent l'échaudage. Un coup de chaleur durant cette période (30°C + vent sec) dessèche la plante ; le risque de l'échaudage devient plus grave si le coup de chaleur survient tôt que s'il survient tardivement [43]. Ces deux accidents donnent un poids de mille grains faible à nul et par conséquent, agissent directement sur le rendement des céréales [39]. Selon Elliard [32], les vents à forte vitesse peuvent également favoriser la verse des céréales ou l'égrenage sur pied des variétés sensibles. La vitesse et parfois la direction du vent ont un effet prépondérant sur le choix des façons culturales qui conviennent le mieux à une zone climatique donnée, en raison surtout des possibilités de défense qu'elles offrent contre l'érosion éolienne.

2.1.4. Synthèse de quelques études

L'histoire des pays développés montre que l'augmentation des rendements est réalisable malgré les effets des aléas climatiques. Le cas du Montana aux Etats-Unis en est un exemple très représentatif [44]. La figure 2.1 montre que la variabilité des rendements des céréales était, dans cette région, intimement liée aux variations climatiques jusqu'aux années 40 mais qu'actuellement leur effet est largement atténué. A partir de 1950 les rendements ont enregistré un saut quantitatif lié à l'augmentation du niveau technologique et à l'amélioration des techniques culturales.

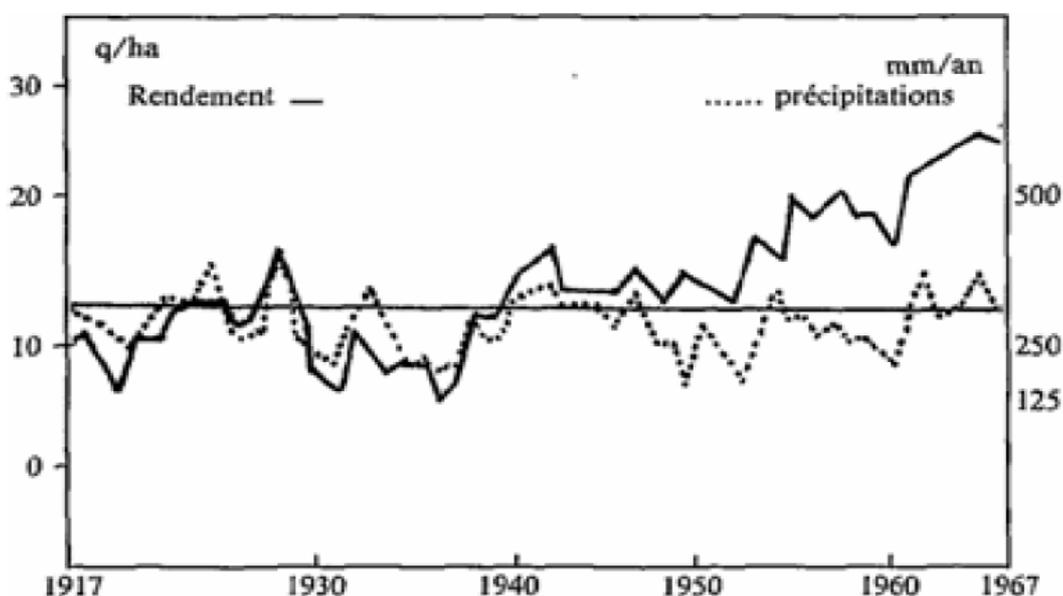


Figure 2.1 : Évolution des précipitations et des rendements des céréales à l'Est du Montana, États-Unis (1917-1967) [44].

Pour différentes régions de Tunisie, les rendements ont été considérés en relation avec la pluviométrie pour la période comprise entre Novembre et Mai pour les années 1980 à 1997 [45]. Selon cet auteur pour les séries considérées, la relation entre pluviométrie et rendement est une relation linéaire. La pente de la relation associant production et pluviométrie peut alors être considérée comme l'efficacité d'utilisation de la pluviométrie. Selon la région, la droite de la régression est différente mais on observe que quand la pluviométrie augmente, la pente de la droite et donc l'efficacité d'utilisation de la pluviométrie diminue. Cela correspondrait à une mauvaise valorisation des pluviométries élevées. Lorsque l'eau n'est plus

limitante, d'autres éléments interviennent et empêchent l'utilisation efficace de la pluviométrie.

La pluviométrie du territoire de la wilaya de Sétif est loin d'être homogène [29]. L'écart pluviométrique moyen pour 1980–1989 s'élève à plus de 500 mm/an entre la zone Nord et la zone Sud de la wilaya, spécialisées toutes les deux dans la céréaliculture. Cet écart s'observe également dans le temps. Alors que la moyenne pluviométrique annuelle est pour une période d'observation de 52 ans (1940–1991) de 422 mm, l'écart entre l'année la plus pluvieuse et l'année la plus sèche est de plus de 350 mm : 635 mm en 1951/52 contre 278 mm en 1977/78.

Dans ce sens, DJENANE [29] a tenté de quantifier le degré d'influence qu'exerce la pluviosité sur l'évolution des rendements. Il a considéré les rendements céréaliers obtenus pour la période 1940–1991 ainsi que les quantités de pluie annuelles pour la même période, il a retenu deux hypothèses :

- Seule la pluviosité agit sur les rendements des céréales,
- Plusieurs facteurs agissent simultanément sur la production des céréales.

Les résultats obtenus montrent une très forte corrélation statistique entre les deux variables étudiées. Ces résultats sont d'ailleurs confirmés par la seconde hypothèse où il a pu constater un coefficient de corrélation particulièrement significatif, $r = 0,67$ pour la période d'indépendance nationale. Il y a donc une très forte corrélation entre les conditions climatiques et la production céréalrière, ce qui peut être interpréter comme l'incapacité des hommes à considérer l'indépendance de la céréaliculture des autres facteurs tels que les aléas naturels.

2.2. Contraintes techniques

Les contraintes au bon développement sont nombreuses, ainsi l'adoption d'un itinéraire technique adéquat permet l'obtention d'un rendement appréciable [46]. Une mauvaise application des techniques culturales, un semis en dehors des délais techniques et l'absence de lutte contre les mauvaises herbes provoquent une profonde dégradation du milieu correspondant à un appauvrissement excessif des sols et une baisse continue des revenus agricoles [47]. Les sols céréaliers sont

pauvres, 60 % des superficies situées sur des terres peu productives [48]. Les efforts d'intensification deviennent très difficiles à cause de morcellement des terres.

Selon Zeghida [49], La mauvaise pratique de l'agriculture dont la fertilité des sols est affectée par le travail intensif des sols, le faible retour organique et la faible activité biologique, n'aggravant ainsi la dégradation et l'érosion des sols, bien plus, les systèmes de production existant dans ces régions sensibles, sont handicapés par une monoculture de céréale, associée à l'élevage ovin. Quoi que les engrais soient produits localement, leur utilisation reste inférieure aux normes d'intensification et varie selon les régions, les cultures et la taille de l'exploitation. Sachant qu'une fertilisation raisonnée permettrait non seulement une amélioration de la production, mais également une résistance à la sécheresse [48].

CHAPITRE 3

TECHNIQUES CULTURALES DE TRAVAIL DU SOL

3.1. Généralités

Le système de cultures, qui peut être défini comme l'ensemble constitué par la succession des cultures sur une parcelle et les techniques culturales qui leur sont appliquées, est le facteur important où l'homme peut intervenir pour modifier la sensibilité des sols et améliorer la productivité des ressources [50]. Toute opération culturale induit une modification de l'état structural du sol et de l'infiltration et, par conséquent, une diminution ou une augmentation du ruissellement et de l'érosion [51].

Les techniques de préparation du sol ont pour objectif principal de transformer un état structural défavorable en un état favorable au développement de la culture à mettre en place [52].

Parmi l'ensemble des techniques culturales indispensables, le labour occupe une place particulière en raison de l'importance de son effet sur l'état de la parcelle cultivée. Les décisions concernant le choix des dates d'intervention, celui des outils ou de leurs règles d'emploi ont donc une importance considérable dans le raisonnement de l'ensemble de l'itinéraire technique et donc pour la conception des systèmes de culture durables.

Le travail du sol modifie la structure des sols cultivés, il affecte donc indirectement le fonctionnement du peuplement végétal et la plupart des processus physiques, chimiques et biologiques qui se déroulent dans le sol (cycle des éléments minéraux et du carbone, devenir des résidus de culture, transferts d'eau et des substances qui y sont dissoutes), et directement sur les autres composantes de l'état de la parcelle cultivée (résistance mécanique,...etc.).

Le travail du sol, comme d'autres techniques d'intensification (engrais, désherbants etc..) améliore donc le potentiel de production, comme il peut

augmenter le risque de compromettre cette même production en cas de sécheresse au stade critique (épiaison, formation de grain). Les orientations pratiques et le choix raisonné d'une politique de travail du sol ne peut donc concerner que les milieux spécifiques et représentatifs des terrains d'études [52].

La préparation du sol consiste à réaliser une ou plusieurs opérations culturales choisies dans un ensemble de techniques. Toutefois, la totalité de ces opérations ne sont pas indispensables, par exemple le labour est dans certains cas éliminé temporairement ou définitivement : techniques culturales simplifiées (TCS) ou techniques sans labour (TSL) et l'on peut, à l'extrême, implanter une culture sans aucune préparation du sol (semis direct). Les décisions quant à l'opportunité de telle ou telle opération, le choix des dates d'intervention ou des outils à utiliser, dépendent d'une série de facteurs dont les principaux sont :

- la nature et l'état physique du sol à préparer (texture, humidité, perméabilité, degré de tassement),
- la nature et la quantité de matières à enfouir (amendements, engrais, résidus de la culture précédente, adventices),
- les risques associés au climat à venir (risque de sécheresse, de pluies battantes, probabilité de gel),
- les exigences propres de la culture à implanter (taille de la semence, sensibilité des racines à la structure du sol),
- les risques phytosanitaires liés à la présence de résidus rémanents ou d'agents pathogènes liés au sol ou aux résidus de la culture précédente.

Les interventions de l'agriculteur dans une parcelle n'affectent pas directement la plante cultivée elle-même, mais l'état du milieu que l'on peut appréhender au niveau de composantes physiques du sol telles que la structure, l'humidité des différents horizons du profil cultural et la teneur en matière organique [53].

Le travail du sol par ses effets multiples et variables qu'il peut avoir sur la structure de la couche travaillée, contribue à la création de l'état du milieu, il doit donc permettre d'atteindre un rendement élevé chaque année. Par ailleurs, il détermine la localisation initiale des résidus laissés à la surface du sol (et la

proportion restant dressée ou couchée), la quantité de matière organique fraîche incorporée, la profondeur d'incorporation et la distribution spatiale des résidus. Indirectement, la localisation initiale détermine donc les conditions physiques (température, humidité) auxquelles les résidus sont soumis lors de leur décomposition et donc la vitesse de décomposition.

Le climat, le sol et l'environnement socio-économique sont des données constantes, c'est ainsi que la recherche et le développement devraient également aborder le niveau "système" à plus long terme [53].

3.2. Techniques conventionnelles

Pendant des siècles, la charrue à socs et versoirs a servi à travailler le sol. Elle convient bien au sol plat et humide à texture fine où le système cultural comprend une jachère et des céréales. Cependant, si on utilise souvent la charrue à socs et à versoirs dans les sols en pente, plus léger, elle est la principale cause de l'érosion. La plupart des agriculteurs ont observé l'une ou plusieurs des situations suivantes ; terres agricoles détériorées, érosion de la couche arable, tempêtes de poussière au printemps, récoltes moins abondantes, intrants de production plus importants, et diminution des profits. Le travail profond affecte l'ensemble de la couche travaillée sur une épaisseur de quelques dizaines de centimètres.

Le travail du sol a pour rôle essentiel d'obtenir un état structural nécessaire à une bonne germination et un développement racinaire normal indispensable pour l'alimentation hydrique et minérale des cultures. L'agriculteur, en faisant subir au sol momentanément l'action des outils de travail du sol, vise plusieurs objectifs, parmi les principaux objectifs du travail du sol, citons :

3.2.1. L'amélioration de la structure du sol : cela consiste à réduire sa compacité, créant ainsi les conditions plus adaptées au développement des racines et facilitant l'exécution d'autres façons culturales ;

3.2.2. L'augmentation de la perméabilité et de la porosité : facilite l'infiltration de l'eau, ce qui a plusieurs effets ; limiter les eaux stagnantes ainsi que le ruissellement en surface, source d'érosion, améliorer l'équilibre entre l'eau et l'air

dans le sol grâce à l'écoulement plus rapide de l'eau en excès, et enfin favoriser la réalimentation des réserves d'eaux souterraines ;

3.2.3. La préparation du lit de semence : l'émiettement des mottes crée un environnement qui place les semences dans les meilleures conditions de germination en facilitant leur contact avec les particules du sol et leur humidification.

Le travail du sol peut également avoir de nombreux autres effets, comme par exemple :

- la limitation des infestations par les plantes adventices,
- la limitation des pertes d'eau par évaporation,
- l'égalisation de la surface du terrain,
- l'enfouissement d'engrais, d'amendements ou d'autres substances telles que les produits phytosanitaires qui pourraient présenter un danger pour la culture suivante (phytotoxicité).

L'action des outils de travail du sol peut être néfaste dans certaines situations provoquant l'émiettement excessif du sol, la stabilité structurale des agrégats peut être réduite, la capacité d'infiltration du sol diminue et le ruissellement se déclenche. Une semelle de labour fine peut se former à cause des socs de la charrue et du poids des roues de tracteur. Alors que dans le fond, des instruments lourds à disques peuvent produire une épaisse zone compactée [47].

Le travail du sol le plus favorable est celui qui donne le rendement optimum avec le temps tout en conservant le patrimoine sol. Pour cela, il faut étudier l'impact de la combinaison des méthodes de travail du sol et du semis sur le rendement et ses composantes et essayer de trouver pour chaque culture la combinaison la plus favorable pour obtenir sur le plan agronomique, les meilleurs résultats possibles.

Ces dernières années, il y a un grand changement dans la compréhension des besoins des cultures en termes de travail du sol et de semis [54]. La tâche la

plus difficile consiste à identifier son importance et la qualité nécessaire pour la croissance de la plante.

C'est pour répondre à ces exigences que des travaux conduits par l'I.T.C.F. et des chercheurs de la chambre d'agriculture de la vienne (France) ont été menés et ont abouti aux résultats suivants :

Le labour à des effets défavorables sur les maladies et ravageurs des plantes [55], selon les mécanismes suivants :

- l'enfouissement des déchets de récolte a pour conséquence l'élimination de tout ce qui est source de développement de moisissures et d'hivernage pour certains insectes (pyrote de maïs, insectes de coton,...etc.) ;
- les résultats obtenus par ces travaux montrent que les pertes à la levée du maïs grain, causées par l'attaque des limaces sont évitées dans le cas du labour.

3.3. Techniques Culturelles Simplifiées (TCS)

3.3.1. Différentes formes de travail du sol simplifié

3.3.1.1. Travail minimum (5-10cm)

C'est un ensemble de techniques culturelles qui recouvrent un grand nombre de pratiques agricoles et mettent en œuvre des outils très divers. Le dénominateur commun est la suppression du labour. Le travail superficiel du sol se caractérise par une profondeur de travail de 5 à 10 cm. Les résidus des cultures sont mélangés à une faible quantité de terre, ce qui nécessite de prendre un certain nombre de précautions.

Le but de TCS est de limiter les interventions mécaniques afin d'en minimiser les coûts et d'économiser du temps, l'implantation des cultures est ainsi accélérée. Ces techniques développent un sol plus homogène, avec une matière organique concentrée en surface sur 5 à 10cm. En effet, les TCS permettent ainsi d'augmenter l'activité biologique de surface, de diminuer le lessivage de l'azote, de freiner l'érosion et de diminuer la consommation en énergie.

Les TCS ne sont pas généralisables à tout type de sols, ni à tout type de culture. L'enquête qui a été menée par I.T.C.F. de la France montre que certaines cultures comme les pommes de terre, ne sont à l'évidence pas adaptées aux techniques simplifiées. Les autres grandes cultures : céréales d'hiver, de printemps, maïs, tournesol, pois de printemps et colza peuvent être implantées avec des techniques simplifiées sans grandes difficultés si les conditions agronomiques s'y prêtent.

3.3.1.2. Semis direct base de l'agriculture de conservation

L'agriculture de conservation est un nouveau concept d'exploitation agricole qui favorise l'équilibre entre une productivité optimale et une utilisation efficiente et durable des ressources naturelles. Le système semis direct constitue la base de l'agriculture de conservation. Il repose sur l'élimination des travaux du sol, le maintien des résidus en surface, le choix des rotations culturales et la gestion des cultures en fonction des potentialités de l'agro-écosystème en question. Ce système se présente comme un moyen d'améliorer, voire de stabiliser les productions agricoles et de minimiser la dégradation des sols.

Le semi-direct est l'une des plus grandes révolutions de ce siècle en matière de technologie agricole. Il donne un sens au terme "agriculture durable", car c'est une technique pratique et rentable qui permet de maintenir les objectifs de production et de protéger la qualité de l'eau et du sol sur l'exploitation et en dehors de celle-ci [56]. Au cours des trente dernières années, les pays développés ont commencé à concentrer leurs efforts sur la conservation du sol et à minimiser les pertes d'eau par les phénomènes de ruissellement, d'évaporation, de drainage et d'érosion, donc maximiser la conservation de l'eau et sa disponibilité pour la plante dans les régions semi arides [57].

Le semis direct est une simplification plus poussée du travail du sol qui consiste à implanter une culture sans travail préalable du sol tout en effectuant une ouverture dans le sol pour déposer la semence à la profondeur souhaitée et ceci afin d'assurer à la graine les conditions les plus favorables à la germination, à la levée et à la croissance pour obtenir les rendements escomptés. En semis direct, le sol n'est pas travaillé. Il est maintenu couvert en permanence par une

biomasse sèche (paillis ou mulch) de résidus végétaux, il retrouve son état naturel, sa vie biologique s'anime, sa qualité se redresse, sa fertilité s'enrichit et il est à l'abri des différentes formes de dégradation. Ce système permet une augmentation notable des rendements (en qualité et en quantité) et une amélioration des indices qualitatifs du sol, et aidera les agriculteurs à réduire les coûts de production [58].

La technique du semis direct présente l'avantage d'une mise en place rapide de la culture, sans la préparation onéreuse du lit de semis. Cette technique semble intéressante dans les régions arides et semi arides, où la préparation du lit de semis est plutôt difficile en l'absence de pluie précoce. Elle est la cause principale des semis tardifs. La végétation adventice est contrôlée chimiquement grâce à l'utilisation d'herbicides totaux comme le glyphosate [N-(phosphonométhyl) glycine, $C_3H_8NO_5P$] ou le paraquate [1,1'-Diméthyl-4,4'-bipyridinium] [11]. Les résultats de recherches récentes indiquent une inversion de la flore sous semis direct, où les adventices de type brome (*Bromus rigidus* L.), ray gras (*Lolium multiflorum* L.) et pâturin (*Poa annua* L.) deviennent la végétation adventice la plus dominante sur céréales [11 ; 59]. Il a été démontré que le labour favorise les adventices annuelles alors que le semis direct favorise le développement des graminées et des vivaces [60 ; 61].

CAMARA *et al.* [62], recommandent la nécessité du contrôle des autres paramètres, comme celui des plantes adventices. La gestion des mauvaises herbes en semis direct se présente comme la deuxième contrainte après celle de la disponibilité d'un semoir adapté [8]. Ce même auteur rapporte qu'il est parfois nécessaire de recourir au labour pour réduire ou éliminer l'espèce d'adventice résistante à l'herbicide utilisé.

L'avantage principale de la rotation est la stabilité des productions, le recyclage des nutriments et l'interruption du cycle des maladies cryptogamiques et des insectes [63 ; 64]. L'effet favorable des rotations a été longtemps reconnu. Le rendement des céréales conduites en rotation avec des légumineuses, comme le pois chiche ou la lentille, est plus élevé en comparaison avec de celui d'une monoculture de céréales [65]. Par contre, le rendement du blé après jachère est souvent plus élevé que celui d'un blé qui suit une légumineuse, suite à plus

d'humidité stockée par la jachère [66]. Ce plus d'humidité varie entre 8% et 20% des 350 mm de pluie enregistrée au cours de la période de la jachère de 14 mois. L'effet à long terme des rotations est moins perceptible sur le labour de conservation que sur le labour conventionnel [67].

3.3.1.2.1. Avantages de la technique du semi-direct

Tableau 3.1 : Avantages de la technique du semis direct.

Lutte contre les ravageurs et les maladies	<p><u>Le SD ont des effets variables sur les maladies en culture céréalière :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Favorisent certaines maladies (Fusariose et rhizoctone) -Diminuent certaines maladies (jaunisse nanisant, verse) -D'ont aucun effet sur certaines maladies.
Lutte contre les adventices	<ul style="list-style-type: none"> -Modifie la flore adventice par rapport à celle des sols labourés, -Diminue les espèces à semences très persistantes comme les renouées, coquelicots, mouron, chénopodes...
Agronomie	<ul style="list-style-type: none"> -Augmente la teneur en matière organique en surface (Effets positifs sur la battance de surface et la portance du sol au bout de 3 à 4 ans) -Diminue les charges de mécanisation, -Accélère l'importation des cultures, -Augmente l'activité biologique de la surface, -Limite les fuites de nitrates pendant l'hiver, par la réduction de la minéralisation d'automne, -Limitation de l'érosion diffuse ou par petites rigoles.
Environnement	<ul style="list-style-type: none"> -Evite la destruction des lombrics et favorise le développement des diptères. -augmente l'infiltration et la vitesse de dégradation des produits phytosanitaires.
Economie	<ul style="list-style-type: none"> -Gain de temps (jusqu'à 50%) -Réduit les consommations de carburant (économie d'énergie).

3.3.1.2.2. Inconvénients de la technique du semi-direct

- problème posé par les résidus de récolte et en particulier les pailles de céréales (l'efficacité des herbicides à action racinaire s'en trouve alors diminuée),
- développement de certaines populations de mauvaises herbes spécifiques ; les vivaces qui ont tendance à se multiplier, surtout avec les appareils animés à lames coupantes,
- augmentation possible de la pression phytosanitaire pour traiter les adventices spécifiques (vivaces...),
- risque d'augmentation des populations de limaces au moment de l'implantation,
- coût élevé du matériel spécifique.

3.4. Comparaison entre deux techniques de travail du sol

Tableau 3.2 : Comparaison entre le labour conventionnel et le semis direct [68].

Critères	Labour classique	Semis direct
Contrôle de l'érosion	Mauvais	Meilleur
Conservation de l'eau	Moyenne	Excellente
Problème de fertilité	Non	Non/oui
Consommation d'énergie	Elevée	Faible
Besoin en main d'œuvre	Grande	Faible
Taille d'exploitation	Large	Indépendant
Réduction attaques des insectes et parasites	Meilleure	Modéré
Dépendance des herbicides	Faible	Grande
Besoin en fertilisants	Elevée	Faible
Semoir spécialisé	Non	Oui
Nécessité de nouvelles techniques	Non	Grande
Opportunité pour plusieurs cultures	limitée	Grande

Ces travaux de recherche indépendants réalisés dans l'Union Européenne, aux Etats-Unis, au Canada et dans d'autres pays tel que le Maroc confirment que l'ancienne méthode de labour intégral qui laisse la surface du sol exposé à

l'érosion doit être abandonnée, l'utilisation des chaumes destinées surtout au début à réduire l'érosion, doit devenir une pratique courante. En effet le semis direct améliore la productivité du sol en réduisant l'érosion, le tassement et le compactage, il améliore la stabilité structurale, la porosité, la teneur en humus, l'activité biologique du peuplement de vers de terre et l'enracinement [58].

3.5. Effets des techniques culturales sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol

3.5.1. Propriétés physiques du sol

L'état physique du sol résulte de l'interaction entre ses propriétés intrinsèques et les différents facteurs extérieurs, d'ordre physique ou mécanique, de ces derniers relèvent les problèmes de travail de sol.

3.5.1.1 Structure du sol, composante majeure de la fertilité des sols

L'évolution structurale d'un sol est liée au cours d'un cycle de culture, aux actions culturales exerçant des effets contradictoires et brutaux et à la variabilité du climat [69]. Lorsqu'un sol subit les effets d'agents extérieurs (facteurs climatiques, organismes vivants, pratiques agricoles), c'est son compartiment structural qui est affecté [70].

De même, plusieurs pédologues comme Duchaufour [71], affirment que la structure du sol dépend :

- de la nature de la terre et de la proportion de ses éléments minéraux et organiques,
- du mode de travail du sol.

3.5.1.2 Stabilité de la structure

La structure du sol n'est pas nécessairement permanente, elle peut être modifiée en fonction des circonstances (pluie, vent, tassement par les engins et le piétinement par les animaux...). La résistance des agrégats à des contraintes physiques détermine la sensibilité d'un sol à la battance et à l'érosion [72], la germination et l'enracinement des plantes cultivées [73 ; 74] et aussi la capacité

d'un sol à séquestrer du carbone par la protection physique des molécules organiques [75]. La matière organique influence la stabilité structurale par plusieurs mécanismes, elle joue le rôle de liant entre les particules du sol et modifie les propriétés hydriques du sol [76]. Certaines études montrent une relation directe entre la teneur en carbone total et la stabilité structurale [77]. D'après certains auteurs, ce n'est pas toujours le cas, cela dépend du type de sol ou du test de mesure de la stabilité structurale utilisé [78 ; 79 ; 80]. Cependant, tous reconnaissent que les techniques de travail du sol influencent plus ou moins fortement la stabilité de la structure.

3.5.1.3 Densité apparente

Les changements intervenant dans la densité apparente sont utilisés comme indicateurs du comportement du sol soumis à la pression des tests de compactage [81].

3.5.1.4 Porosité

Deux types de porosité sont définis selon l'origine des pores ; la porosité texturale formée par l'arrangement des particules élémentaires du sol, et la porosité structurale correspondant à la fraction de porosité en rapport avec l'histoire du matériau ; travail du sol, facteurs climatiques, activités biologiques [82].

La porosité influence la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol, la capacité à la stocker de l'eau et la circulation de l'air. Elle est en relation étroite avec la densité apparente et l'espace poral, en conditionnant les volumes d'air et d'eau, contrôle aussi la vie du sol, en ménageant des espaces qui facilitent le développement des racines des plantes et la circulation des organismes vivants [83].

La porosité texturale est peu affectée par le travail du sol [84]. Elle est par contre étroitement liée à la constitution minérale et organique du sol.

Les modifications du volume poral et sa répartition peuvent être temporaire ou prolongées, le labour augmente la porosité totale de la couche labourée et en particulier sa composante structurale [85]. Les pratiques culturales comme le

semis direct réduisent la porosité totale [86 ; 87 ; 88]. Le pseudo-labour a un effet intermédiaire entre le semis direct et le labour [89].

3.5.1.4.1. Application de la micro-morphométrie à divers aspects agronomiques

En Italie, c'est surtout PAGLIAI [88 ; 90] qui utilisa la micro-morphométrie pour étudier l'influence des amendements et des traitements culturaux sur la porosité et en tira des conclusions pratiques pour la gestion des sols, il montra en particulier que :

- la porosité totale est plus élevée sur sols travaillés de manière habituelle.
- la capacité de rétention en eau est plus élevée sur sols non travaillés, les pores y sont plus fins, réguliers et de forme allongée, favorables à la croissance racinaire. Sur ces mêmes sols, les croûtes de battance sont moins développées.

En approfondissant ces recherches, des travaux ont permis de montrer que la fonctionnalité des pores ne dépend pas uniquement de paramètres dimensionnels mais également de leur continuité verticale et de leur forme. Ces deux dernières caractéristiques influencent la plante soit directement en facilitant plus ou moins l'installation et le développement des racines, soit indirectement en agissant sur le stockage et le transfert de l'eau, des gaz et de la chaleur [91].

L'activité biologique et les pratiques culturales entraînent des modifications de la porosité et par conséquent la rétention en eau du sol [92].

L'extension du système racinaire des végétaux et la demande déterminée par le climat (évapotranspiration) sont aussi des facteurs importants à prendre en compte pour étudier la disponibilité de l'eau pour le développement des plantes [93]. La réserve facilement utilisable dépend, non seulement de la profondeur racinaire, mais aussi de la densité de l'enracinement et de la structure du sol. Elle est de 1/2 pour un sol argileux ou limoneux et de 2/3 pour un sol sableux [94].

La conductivité hydraulique des sols saturés dépend principalement des larges pores. En effet, ceux-ci seront les premiers à être drainés si le taux d'humidité diminue. En cas de faibles taux d'humidité, seuls les pores serrés contribueront au débit de l'eau dans le sol [81].

3.5.2. Propriétés biologiques du sol

3.5.2.1. Matières organiques

Les effets du travail du sol sur la dynamique de la matière organique du sol ont été étudiés depuis longtemps pour leurs conséquences sur les propriétés physiques, l'érosion, la fertilité, et la perte de nutriments [95]. Plus récemment, les préoccupations en matière d'émissions de gaz à effet de serre ont conduit les scientifiques à examiner le potentiel des sols à stocker du carbone organique, en particulier sous l'influence des pratiques culturales. Il existe une forte interaction entre les pratiques de travail du sol et la dynamique des matières organiques du sol (Figure 3.1). Le travail du sol et le non travail détermine les modalités d'incorporation et de décomposition des matières organiques fraîches. Ces matières organiques en décomposition modifient en retour les propriétés physiques du sol et en particulier sa structure. On ne peut donc dissocier aisément les effets du travail du sol sur la décomposition des matières organiques fraîches et les effets affectant la structure du sol et ses propriétés.

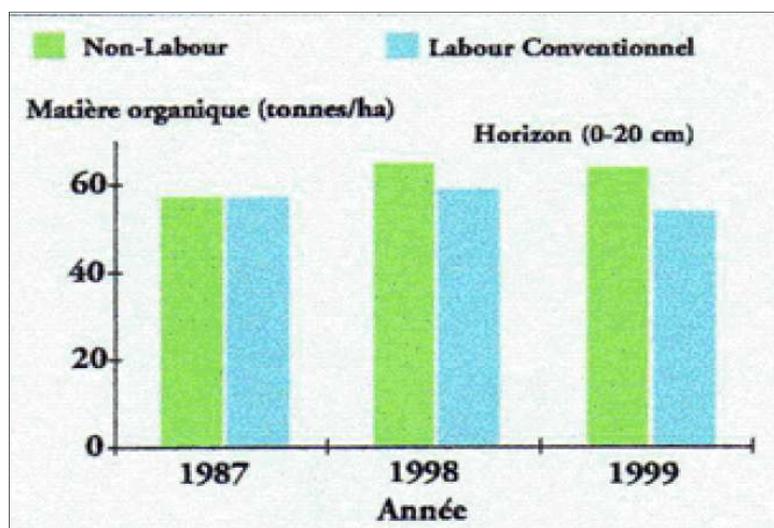


Figure 3.1 : Influence des techniques de travail du sol sur les stocks de la matière organique [58].

Pour le semis direct, les résidus végétaux ne sont plus enfouis, les couches de terre ne sont plus mélangées, il n'y a plus de terre fine produite dans le profil cultural. L'absence de retournement du sol conduit à long terme à une très forte concentration en surface en matières organiques, phosphore, potasse et à une

acidification de cet horizon. On observe ainsi une nette augmentation de la stabilité structurale dans les premiers centimètres du sol qui limite la battance, améliore la capacité d'infiltration de l'eau et réduit le ruissellement.

L'effet majeur du changement de pratiques de travail du sol est principalement une modification dans la localisation du carbone organique, avec un gradient très prononcé dans les situations sans travail du sol [95]. En effet, dans le traitement "semis direct", plus de 50% du carbone récent se trouve dans les 5 premiers centimètres et seulement 20% se trouvent en dessous de 25 cm, alors que le carbone est réparti de manière homogène dans la couche travaillée pour le traitement "labour". Pour les situations sans labour, les biotransformations des matières organiques sont localisées dans les tous premiers centimètres du sol.

3.5.2.2 Répartition et contact des résidus végétaux avec le sol

Le travail du sol détermine plusieurs facteurs dont la localisation initiale des résidus de récolte, il influence par conséquent la quantité de résidus laissés à la surface du sol, la quantité de matière organique fraîche incorporée, la profondeur d'incorporation et la distribution spatiale des résidus. Indirectement, la localisation initiale détermine donc les conditions physiques (température, humidité) auxquelles les résidus sont soumis lors de leur décomposition et donc la vitesse de décomposition.

Un des facteurs modifié par le travail du sol est le "contact" entre les résidus végétaux et le sol. Le contact résidus-sol dépend des caractéristiques intrinsèques des résidus (quantité, morphologie, composition biochimique), des fragmentations consécutives aux opérations de récolte et de travail du sol, et enfin de la localisation initiale des résidus. Plus le contact est intime, plus la décomposition est rapide, probablement en raison d'une colonisation par les décomposeurs qui serait facilitée et d'une humidité souvent plus favorable [96 ; 80]. L'autre facteur important est la disponibilité en azote, élément indispensable à la croissance des micro-organismes décomposeurs. Dans le cas de résidus contenant peu d'azote (ex. les pailles de légumineuses), l'essentiel des besoins en azote est couvert par

l'azote minéral du sol fourni par la couche dans laquelle les résidus sont incorporés.

3.5.2.3. Effets des techniques culturales sur l'activité biologique du sol

Si le non labour augmente l'activité biologique en surface, il réduit en profondeur la quasi-totalité des micro-organismes du sol qui se développent au dépend de matière organique (débris végétaux et exsudats racinaires), ainsi, l'activité biologique sera distribuée de façon plus ou moins homogène dans l'horizon de surface [96].

Ainsi, les rotations culturales ; en plus de leur rôle de « pompe biologique », la rotation de diverses espèces végétales permet de diversifier la flore et la faune du sol. En effet, leurs racines sécrètent différentes substances organiques qui attirent une diversité de bactéries et de champignons. Ces micro-organismes vont à leur tour jouer un rôle important dans la disponibilité des éléments nutritifs pour la plante. Les rotations culturales sont surtout importantes pour la lutte phytosanitaire « intégrée » dans la mesure où elles brisent les cycles des pathologies [96].

3.5.3. Propriétés chimiques du sol

3.5.3.1. Effet de travail du sol sur les stocks et flux de C et N

Le passage du labour profond au semis-direct induit des modifications dans la structure du sol et la localisation de la matière organique du sol (MOS) et des résidus de culture. Ceci entraîne des modifications dans le climat du sol (température et humidité) et certaines propriétés biologiques, chimiques et physiques du sol. La combinaison de toutes ces modifications a une influence importante sur les transformations de l'azote et du carbone dans le sol [97].

Une étude a été menée afin de quantifier les différences de stocks et de flux du carbone et de l'azote entre différents systèmes de travail du sol différenciés depuis 32 années dans un sol limoneux de grande culture du bassin parisien. Cette étude a été essentiellement focalisée sur les variables qui ont un impact agronomique ou environnemental tels que le carbone et l'azote organique du sol. Deux systèmes de travail du sol ont été étudiés : le labour (TC) et le semis-direct

(SD). SD présente des stocks de carbone 5 à 15 % plus importants et des stocks d'azote 3 à 10% supérieurs à ceux mesurés pour TC, mais ces différences n'ont pas toujours été statistiquement significatives. Les concentrations de C et N diminuent avec la profondeur en SD alors qu'elles sont distribuées de façon homogène dans la couche labourée en TC.

Pour LABREUCHE [95], l'essai de Boigneville a montré que la vitesse de décomposition de la matière organique native du sol, calculée sur 17 ans était deux fois plus rapide en présence de travail du sol comparé au semis direct. Cela confirme que le passage aux techniques simplifiées de travail du sol s'accompagne d'une diminution de la vitesse de minéralisation. L'absence de travail du sol se traduirait donc par une forte diminution du coefficient d'humification.

3.6 Effet du travail du sol sur le rendement de blé dur

De nombreuses études ont abouti à des conclusions similaires : un effet positif du semis direct sur le rendement, une réduction des coûts de production et la diminution de l'érosion. Ils mentionnent que l'augmentation du rendement est étroitement corrélée avec la quantité du mulch disponible [98].

Le gain de rendement issu de l'adoption du système de non labour est dû essentiellement au surplus d'humidité stocké, en plus de la bonne installation de la culture sous ce système [99,100].

Des résultats contradictoires sont aussi souvent rapportés. Ainsi Abdellaoui et al [101], notent peu de différences entre le système en semis direct et celui en labour conventionnel pour les épis produits par m². Le nombre de grains par épi s'est mieux exprimé dans le système en labour conventionnel avec des poids de 1000 grains similaires, aboutissant avec une réduction du rendement du semis direct de 26%.

3.7. Rôle des racines et leur évaluation dans le travail du sol

Les racines jouent un rôle fondamental dans le fonctionnement et la production des plantes, elles constituent également une source de matière organique pour le sol. C'est même parfois la seule restitution régulière dans

beaucoup de système de cultures en zone pauvre en matière organique, il est donc important pour la production de la culture, mais aussi pour le maintien de la fertilité du sol, d'avoir un système racinaire bien développé, notamment en profondeur [102]. Un bon développement racinaire des cultures est un facteur essentiel de leur productivité et surtout de leur tolérance aux aléas, en particulier, climatiques [103 ; 104]. Un des rôles essentiels du travail du sol est donc de faciliter la croissance des racines dans ce milieu contraignant. Il permet souvent de diminuer la résistance du sol à la pénétration des racines à travers une amélioration de sa structure et parfois de son humidité. Il améliore aussi l'aération du sol, facilitant les échanges gazeux au niveau de la racine. Le système racinaire devrait donc être un critère important d'évaluation, par les agronomes et les agriculteurs, de la nécessité ou non d'une amélioration des caractéristiques physiques du profil cultural par le travail du sol, puis après réalisation, de leur efficacité, malheureusement les systèmes racinaires des cultures sont encore peu connus car ils sont difficiles à observer au champ.

3.7.1. Influence de la résistance du sol sur la pénétration et la croissance des racines

Certaines expériences en pots réalisées par MAERTENS [103] permettent de préciser la part due réellement à des difficultés mécaniques de pénétration dans les réactions du système racinaire. L'essai porte sur trois humidités et trois porosités différentes les unes des autres, il constate que la résistance à la pénétration a un rôle nettement plus important que celui de l'humidité et de la porosité.

Le labour a donc, en moyenne, un effet favorable sur le développement des systèmes racinaires, il améliore en particulier la vitesse de croissance en début de cycle ainsi que la colonisation du sol en profondeur. Il faut attribuer cet effet à une modification de la porosité du sol et à une réduction de la résistance mécanique du sol à la pénétration des racines, car ce sont les deux propriétés physiques du sol qui sont les plus modifiées par le labour [105 ; 106]. Toutefois, l'importance de l'effet du travail du sol sur le système racinaire dépend largement de l'état physique initial du profil cultural. Dans un sol déjà bien structuré au départ (effet résiduel d'un travail, défriche récente, longue jachère), les modifications de l'état

physique du sol dues au travail et donc les effets sur l'enracinement seront moins nets ou même inexistants, d'où un effet du travail du sol sur le système racinaire plus irrégulier [107]. Le travail effectué doit aboutir à un profil motteux sans discontinuités et sans semelle de labour. Cet état peut bien sûr être obtenu par d'autres outils que la charrue, ces différences interspécifiques dans l'effet du travail du sol peuvent, en partie, expliquer des différences de comportement au labour des cultures.

De façon simplifiée, on doit raisonner les choix de travail du sol en fonction des critères classiques (disponibilité en matériel et en temps, coûts, effets moyens attendus), mais aussi en termes de risque [102]. Le risque climatique entraîne une variabilité de l'efficacité de la technique, augmentant donc le risque économique. Le choix raisonné d'une technique de travail du sol ne peut donc concerner que les milieux représentatifs des terrains d'étude. Il n'est pas possible de généraliser à de vastes régions sans analyse critique. Dans certains milieux, le travail profond à la charrue sera la meilleure solution (ou la moins mauvaise); dans d'autres situations, parfois très proches géographiquement, des techniques de semis direct seront préférables. En matière de travail du sol, partout, mais surtout dans les zones à risque climatique, le rôle du chercheur du développement ne peut être que d'aider à une décision raisonnée. Ce choix local doit se faire à partir d'une connaissance de l'environnement physique, d'un référentiel d'effets des techniques de travail du sol pouvant être obtenu et d'outils de diagnostic agronomique.

CHAPITRE 04

MATERIÉLS ET MÉTHODES

4.1. Objectif de l'essai

L'expérimentation mise en place au cours de la campagne agricole 2011/2012 est à sa troisième année et dont l'objectif est défini en introduction. Notons que l'influence sur les propriétés du sol et surtout la conservation de l'eau dans le sol considéré selon BOUAZZA [108] comme l'un des facteurs clés d'amélioration de la production. Il convient donc de voir bien évidemment leurs répercussions sur le rendement et ses composantes ainsi que le taux de la matière organique et les mauvaises herbes.

Cet essai a été réalisé dans le cadre d'un programme de recherche sur le semis direct en Algérie au niveau de l'institut technique des grandes cultures (ITGC) de Sétif où il a été décidé de mettre en place un essai expérimental de longue durée depuis 2009 afin d'étudier ce nouveau système dans les conditions semi-arides des hautes plaines céréalières.

4.2. Site expérimental

L'étude a été réalisée à la Station Expérimentale Agricole (SEA) de l'Institut Technique des Grandes Cultures de sétif. Le site expérimental, au lieu dit R'mada, situé à 4 km au sud-ouest de la ville de Sétif, lié administrativement à la commune de Mezloug, Daïra de Ain Arnat, aux coordonnées géographiques 36° 08' N, 5° 20' E, à une altitude de 962 m. Le climat du site expérimental est de type méditerranéen, continental, appartenant à l'étage bioclimatique semi-aride, caractérisé par un été pratiquement chaud et sec, et un hiver froid et humide [109]. Le sol du site présente de grandes variations. Il est profond, avec peu de calcaire et plus fertile dans le voisinage du lit du Bousselam. Il est calcaire avec présence d'encroûtements et peu profond sur les parcelles, plus éloignées et en amont [110]. La teneur en matière organique varie de 2,05 à 2.84 % en horizon de surface (0-05 cm) donc relativement riches, décroît entre 1.92 et 2,13 % pour le

deuxième horizon (10-20 cm) pour atteindre la valeur de 1.63 à 2 % en profondeur (20-30 cm).

4.3. Matériel végétal

La variété de blé dur Bousselam dont le pédigrée est Heider/Martes//Huevo de Oro a été utilisée comme matériel végétal. C'est une sélection de la station de l'ITGC (Sétif) avec un cycle végétatif tardif de 5 jours en moyenne par rapport à la variété Waha, et précoce de 15 jours en moyenne par rapport à la variété Mohamed Ben Bachir [111]. Elle montre aussi une performance de rendement plus élevée que celles de Waha et Mohamed Ben Bachir, qui sont toutes les trois largement cultivées dans la région de sétif [111].

4.4. Traitements et dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté est le split-plot avec deux facteurs étudiés. Il est constitué de trois blocs subdivisés chacun en deux parcelles, portant chacune un système de travail du sol (facteur O1). La parcelle est partagée en deux sous-parcelles élémentaires. Ces dernières représentent les précédents culturaux (facteur O2). Le total des parcelles élémentaires s'élève à 12. La surface de la parcelle élémentaire est de 180 m² (Figure 4.1).

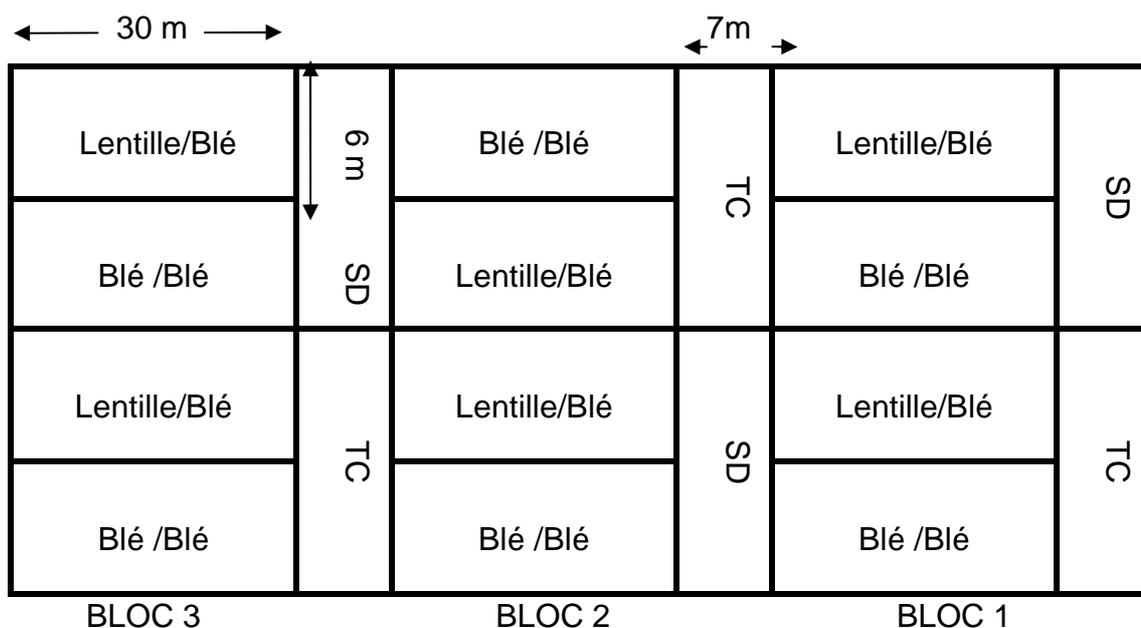


Figure 4.1 : Schéma du dispositif expérimental.

Le semis a été réalisé le 12 Janvier 2012 à une dose de $130 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ à l'aide d'un semoir classique pour le travail conventionnel et avec un semoir spécial de marque SEMEATO-PERSONALE DRILL 17 conçu pour le semis direct. Combiné au semis, un apport de 80 kg/ha d'engrais de fond mono-ammonium-phosphate (MAP) de formule 15.52.0 a été appliqué. L'engrais de couverture (Sulfazot) de formule 26% N.35% SO_3 , a été apporté au stade tallage le 21/03/2012 sur la culture de blé pour les deux modes avec une dose de 120 Kg/ha .

4.5. Techniques et méthodes de mesure

Pour répondre aux questions posées et aux objectifs de ce travail, notre étude est basée sur le couplage de mesures, suivi et notations des paramètres édaphiques d'une part et des paramètres liés à la culture de blé dur d'autre part.

4.5.1. Mesures relatives au sol

✓ L'analyse du sol

Nous avons débuté l'expérimentation par un échantillonnage du sol (en zigzag), à l'aide d'une tarière pédologique, pour obtenir un échantillon composite pesant environ 1 kg pour chaque mode de conduite. Les échantillons, une fois séchés à l'air libre, broyés puis tamisés à 2 mm , subissent une série d'analyses physiques, chimiques et biologiques au laboratoire FERTIAL sis à Annaba, dont les résultats de ces analyses sont portés en annexe (Tableau 1), à l'exception de la matière organique qui est analysée au niveau du laboratoire de pédologie de l'Université de M'sila.

Pour déterminer le taux du carbone, nous avons utilisé la méthode ANNE modifiée. Chacun des prélèvements a été réalisé à partir de trois horizons : de 0 à 5 cm, de 5 à 20 cm et de 20 à 30 cm. Les échantillons de sol sont prélevés pour chaque horizon sur trois points dans chaque parcelle élémentaire. Le carbone organique est ensuite oxydé à chaud à l'aide de bichromate de potassium, en milieu sulfurique, selon la méthode ANNE, le sulfate de chrome ainsi formé est dosé par spectrophotométrie. Le taux de la matière organique présente dans le sol est déterminé par la formule suivante :

$$\text{MO} = \text{C}\% \times 1.72$$

✓ L'humidité du sol

La méthode des doubles pesées (gravimétrique) a été utilisée pour mesurer l'humidité du sol. Les prélèvements des échantillons sont effectués à l'aide d'une tarière pédologique, sur chaque parcelle élémentaire de chaque traitement. Les échantillons sont prélevés dans trois points de chaque parcelle, chacun des prélèvements est réalisé à partir de trois horizons : de 0 à 10 cm, de 10 à 20 cm et de 20 à 30 cm.

La teneur en eau d'un échantillon de sol s'effectue simplement par pesée avant et après étuvage (un séchage à l'étuve à la température de 105° pendant 24h), les deux valeurs ainsi obtenues correspondent respectivement au poids frais de l'échantillon (PF) et au poids sec (PS). La teneur en eau pondérale H% est obtenue selon la formule décrite par Duchaufour [112] comme suit :

$$H\% = 100 (PF-PS)/PS$$

L'humidité du sol est suivie sur toutes les parcelles élémentaires. Les huit prélèvements ont débutés au mois de Mars, et poursuivis jusqu'à la récolte de blé.

✓ La densité apparente du sol

La méthode la plus couramment utilisée est celle du carottage. Des prélèvements effectués à l'aide d'un cylindre métallique, d'une extrémité aiguisée et d'un volume (V, cm³) connu, en l'enfonçant de façon mécanique à la surface du sol (0-10 cm), puis le dégageant en creusant autour.

Les prélèvements des échantillons ont été pris le 08/05/2012 à raison de 3 échantillons par micro parcelle.

Après séchage à l'étuve à 105 C° durant 24 heures, les échantillons sont ensuite pesés à l'aide d'une balance de précision. La densité apparente (Da) est calculée selon la formule de BLAKE et HARTGE [113] :

$$Da = p (g)/V (cm^3)$$

Avec

D_a : la densité apparente (masse volumique sèche).

P : poids sec de l'échantillon.

V : volume de l'échantillon de terre.

✓ La vitesse de l'infiltration de l'eau dans le sol (Conductivité hydraulique)

La conductivité hydraulique (K) se mesure sur terrain dans des milieux granulaires saturés. Elle est déterminée par l'utilisation d'un infiltromètre à mini disques de succion (Figure 01), à 0,5 de hauteur d'eau. La hauteur de l'eau dans le tube (h) est suivie chaque minute pendant 10 minutes par répétition et sur tout l'ensemble des parcelles élémentaires.

La vitesse d'infiltration de l'eau est déterminée selon la formule suivante [114] :

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

Avec

$Q \text{ (cm}^3\text{)}$: volume d'eau infiltrée ;

$S \text{ (cm}^2\text{)}$: surface de la colonne d'eau = 15,9 cm².



Figure 4.2 : Mini-infiltromètre à disque à droite et Disque en acier inoxydable à gauche.

✓ La résistance pénétrométrique (compaction du sol)

Le pénétromètre semble être un outil approprié pour déterminer la résistance pénétrométrique du sol. C'est l'un des indicateurs souvent utilisés pour évaluer rapidement l'ampleur du compactage des sols et la localisation de la zone tassée. L'étude menée par HARRAD [115] concernant la modélisation du développement racinaire montre que de tous les facteurs étudiés ; la résistance à la pénétration est le facteur le plus influant de la propagation des racines dans le sol.

L'analyse pénétrométrique donne des informations qui peuvent nous renseigner sur le mode d'action des outils aratoires, la facilité avec laquelle le système racinaire va se développer et ainsi son étendue.

La mesure de la résistance pénétrométrique (R_p) est réalisée à l'aide d'un pénétromètre dont le mode opératoire consiste à faire enfoncer le cône du pénétromètre dans le sol et à mesurer l'effort à appliquer. Cet effort, affiché à la surface de la base du cône définit l'indice de cône (25N). A l'aide de la formule ci-dessous, nous obtenons la valeur de la compacité.

$$R_p \text{ (N/cm}^2\text{)} = \text{lecture} \times \text{constant facteur (20N/cm}^2\text{)}$$

$$10\text{N/cm}^2 = 1\text{Kg/cm}^2$$

✓ La description des profils culturaux

Pour bien visualiser les modifications structurales du sol et l'enracinement, sous les différentes pratiques culturales, deux profils culturaux ont été ouverts à raison d'un profil par mode de travail du sol, dont la fiche descriptive est portée en annexe (Tableau 2).

4.5.2. Mesures relatives à la culture

Les observations ont lieu tout au long du cycle végétatif du blé soit du semis jusqu'à la maturité.

4.5.2.1. Caractères physiologiques

✓ La teneur relative en eau

La teneur relative en eau (TRE, %) est déterminée sur la feuille étandard par la méthode décrite par SERRIEYS [116]. Cinq feuilles de chaque parcelle élémentaires sont coupées à la base du limbe et pesées immédiatement à l'aide d'une balance de précision pour avoir le poids frais (PF). Les feuilles sont mises par la suite dans des tubes à essai contenant de l'eau distillée et placées à l'obscurité, après 4 heures, les feuilles sont pesées de nouveau, après avoir pris soin de les essuyer de l'eau restante à la surface avec du papier buvard pour obtenir le poids turgide (PT). Les feuilles sont enfin mises à l'étuve à 85°C pendant 48h et pesées pour avoir leur poids sec (PS). La teneur relative en eau est calculée par la formule de [117] comme suit :

$$\text{TRE (\%)} = [(PF-PS) / (PT- PS)].100$$

✓ La teneur en chlorophylle

La teneur en chlorophylle totale présente dans les feuilles a été déterminée à l'aide d'un chlorophyllo-mètre digital de type SPAD 501 qui donne des lectures en unité SPAD. Il est utilisé pour évaluer la teneur en azote des feuilles puisque la majeure partie de l'azote est contenue dans la chlorophylle. Le principe repose sur la mesure de la fraction de la lumière transmise par la feuille à deux ondes (650 nm et 940 nm) sur une surface de 2 mm × 3 mm. Sur le milieu de la feuille étandard, nous avons mesuré la teneur moyenne en chlorophylle total à raison de dix plants par chaque traitement étudié.

✓ La température cumulée à l'épiaison

La date d'épiaison est notée lorsque 50% des épis du blé sont sortis de leurs gaines. Le stade épiaison représente le nombre de température cumulées de la germination jusqu'au stade de l'apparition des ébauches des épis.

4.5.2.2. Caractères agronomiques

✓ Le peuplement à la levée

Le nombre de plants levés est estimé par le comptage du nombre de coléoptiles sortant du sol sur trois mètres linéaires dans chaque parcelle élémentaire, ce dernier est ensuite rapporté au m².

✓ La hauteur des plants

La hauteur moyenne des plantes (Ht P) de chaque traitement a été mesurée en centimètre et à maturité, à l'aide d'une règle graduée, la hauteur représente la distance allant du ras du sol jusqu'aux sommets des barbes de l'épi.

4.5.2.3. Le rendement et ses composantes

Au stade maturité, des bottillons ont été récoltés sur un segment de rang de 3 m de long/traitement/répétition.

✓ Le nombre d'épi/m² (NE) : est estimé par le comptage de nombre d'épi /3m linéaire, ce dernier est ensuite rapporté au m².

✓ Le poids de mille grains (PMG) : est déterminé par comptage et pesage de 1000 graines.

✓ Le nombre de grains/épi (NGE) : est déterminé par la formule suivante :

$$\text{NGE} = (1000 \text{ RDT}) / (\text{PMG} \times \text{NE})$$

✓ Le rendement en grain (RDT) : est estimé à partir du poids (g) des grains produits par trois mètre linéaire puis rapporté au (Qx/ha).

✓ Le rendement en paille (PLL) : est déterminé par pesage de la paille produite par trois mètre linéaire puis rapporté au (g/m²).

✓ Le rendement en biomasse aérienne (RDT bio) : est la somme du rendement en grain (RDT) et le rendement en paille (PLL).

✓ L'indice de récolte(IR) : est le ratio entre le rendement en grain (RDT) et la matière sèche totale, il est exprimé en pourcentage %.

4.6. Evaluation de la densité des mauvaises herbes

Un comptage des individus par mètre carré est effectué au stade de maturité du blé.

4.7. Analyse statistique

Pour traiter les données collectées aussi bien sur le sol que sur le végétal, nous avons eu recours à deux méthodes d'analyse statistiques :

4.7.1. L'analyse de la variance

Réaliser l'analyse de variance revient à tester si les effets des traitements sont identiques ou non. En terme statistique, c'est rechercher si l'effet traitement est significatif avec un certain risque d'erreur [118].

Le test est réalisé en étudiant le rapport entre la variance traitement et la variance résiduelle. Ce rapport donne F observé que l'on compare à un F théorique par le tableau de Snedecor.

La signification des résultats est exprimée en fonction de la probabilité ou erreur réellement commise si :

$P \leq 0,001$: les traitements sont très hautement significatifs (***).

$P < 0,01$: les traitements sont hautement significatifs (**).

$P < 0,05$: les traitements sont significatifs (*).

La comparaison des moyennes est faite à l'aide du test de NEWMAN et KEULS au seuil de 5% pour la détermination des groupes homogènes.

4.7.2. L'analyse des corrélations

Le calcul du coefficient de corrélation "r" de PEARSON permet d'indiquer l'existence éventuelle, à un seuil de probabilité donné, d'une relation entre deux variables ; l'une dite explicative et l'autre à expliquer.

Les analyses statistiques sont réalisées à l'aide du logiciel SAS v.9.0.0 et SYSTAT vers. 12.

CHAPITRE 5

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

5.1. Caractéristique du climat de la campagne d'étude

La comparaison de la pluviométrie enregistrée entre les deux dernières campagnes 2010/2011, 2011/2012 et la période 1997/2012 montre des différences sur le plan de la quantité et de la répartition. La campagne 2011/2012 peut être qualifiée d'exceptionnelle et caractéristique du climat méditerranéen de par son irrégularité inter saisonnière et la chute de plus de 15 jours successive de neiges durant le mois de Février qui coïncide avec le stade levée.

Le cumul des précipitations du mois de Septembre au mois de Juin correspondant au cycle de la culture de céréale ont été de 358.2, 408.7 et 329 mm respectivement pour la campagne moyenne de 15 années et les campagnes 2010/2011 et 2011/2012 (Figure 5.1).

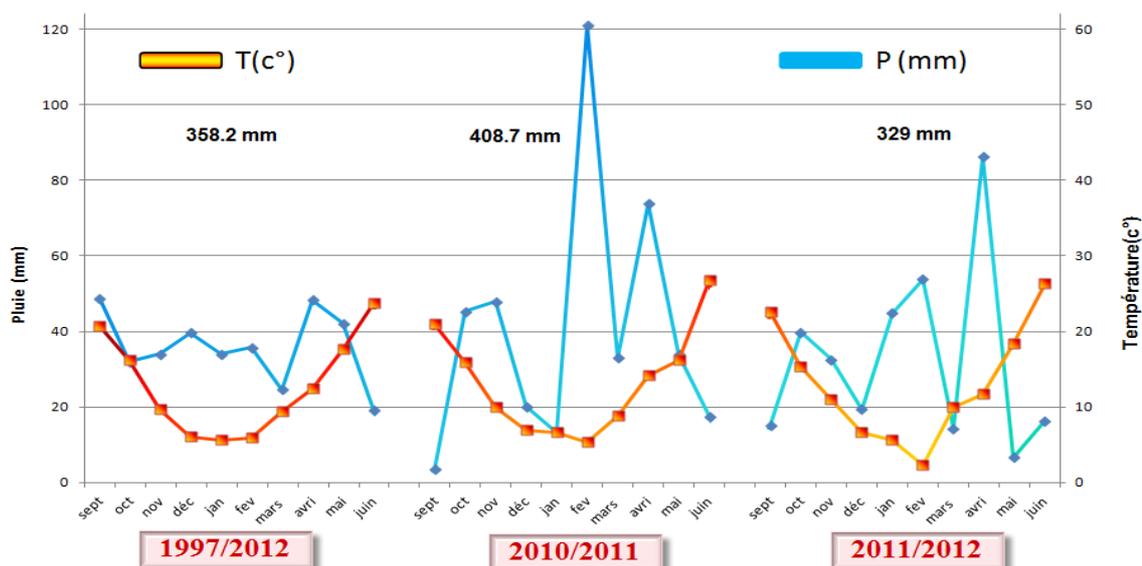


Figure 5.1 : Courbes ombrothermiques caractérisant la pluviométrie et la température de la campagne moyenne des 15 années et des deux dernières campagnes enregistrées sur le site ITGC de Sétif.

La campagne moyenne de 15 années montre une distribution monotone de la pluviométrie, avec une moyenne variant entre 30 et 40 mm pour la plus part des mois, hormis les mois de Septembre et de Juin. Le mois de Septembre présente le cumul moyen le plus élevé alors que c'est l'inverse pour le mois de Juin. Cette distribution moyenne de la pluviométrie cache une grande variabilité qui est observée annuellement pour cette caractéristique climatique sous conditions semi-arides des hautes plaines Sétifiennes.

Ceci est confirmé par les différences très nettes du point de vue cumul mensuel de la pluviométrie que montrent les campagnes 2010/2011 et 2011/2012 entre elles et comparativement à la campagne moyenne des 15 dernières années. La campagne 2010/2011 présente un excédent pluviométrique de 12.35% (50.5 mm) de plus que le cumul de la campagne moyenne des 15 années. Alors que celle de 2011/2012 montre un déficit de 08.15% (29.2 mm) pour la même période.

Ce qui confirme que la dernière campagne était moins pluvieuse par rapport à la moyenne des 15 années précédentes et ça se répercute sur le comportement de la culture céréalière dans les régions où l'eau reste un facteur limitant de l'élaboration du rendement de blé surtout en fin de cycle (poste-anthèse).

La campagne 2011/2012 caractérisé par l'irrégularité de la répartition de la pluie inter-mois, où le mois le plus pluvieux était le mois d'Avril avec une précipitation de 86.2 mm tandis que le mois le moins pluvieux était le mois de Mai avec une somme de précipitation de 6.6 mm. La quantité faible de la pluviométrie au mois de Mai (6.6 mm) coïncide à la fois avec le stade de remplissage des grains et une demande climatique importante où la culture nécessite une réserve hydrique dans le sol pour compléter ce stade dans des bonnes conditions.

BALDY [33] mentionne, que d'une manière générale, seules les quantités de pluies mensuelles supérieures à 20 mm contribuent effectivement à la recharge de la réserve d'eau du sol. Au cours de la campagne d'étude, les mois d'octobre, novembre, janvier, février et avril se sont caractérisés par des pluies permettant d'alimenter la réserve d'eau du sol. Les périodes de montaison et remplissage du grain se sont déroulées en plein déficit hydrique (Figure 5.1).

L'analyse du régime thermique de la campagne moyenne de 15 années précédentes indique que les basses températures se situaient entre le mi-novembre et mi-février. Ceci empêche tout développement de la végétation et ne permet pas aux eaux des pluies automnales et hivernales d'être valorisées par la culture, et on constate le même cas pour les deux dernières campagnes. Ce qui concerne les hautes températures, le mois de septembre et juin enregistreraient une moyenne de 25 C° ce résultat est pareil pour la campagne moyenne des 15 années précédentes et les deux dernières campagnes 2010/2011 et 2011/2012, la diminution de la pluviométrie et l'augmentation de la température a débuté dès le mois de Mai jusqu'à la fin du cycle, coïncidant avec la période de floraison et de remplissage du grain.

5.2. Effet du travail du sol et du précédent cultural sur les propriétés du sol

5.2.1. Evolution de l'humidité du sol

Afin d'étudier l'état d'humidité du sol (H%) pour les deux techniques culturales à différentes profondeurs en fonction des précédents utilisés, nous nous sommes basés sur le suivi de l'évolution de cette humidité à travers quelques jours après semis (JAS). Les différentes dates de prélèvement sont : 63 JAS (15/03), 97 JAS (18/04), 109 JAS (30/04), 122 JAS (13/05), 129 JAS (20/05), 139 JAS (30/05), 150 JAS (11/06), 157 JAS (18/06) tout au long du cycle de la culture du blé. La distribution de l'humidité du sol, sur les 30 cm du profil est peu affectée par la nature du labour et/ou par le précédent cultural.

L'analyse de la variance révèle un effet mode de semis en premier horizon pour la date 1 (63 JAS) et la date 7 (150 JAS) et pour la date 2 (97 JAS) et la date 3 (109 JAS) respectivement pour l'horizon 2 et 3. Alors que un effet précédent en premier horizon à la date 8 (157 JAS) et en deuxième horizon pour la date 7 (Tableau 5.1).

Tableau 5.1: Moyennes et résultats de l'analyse de la variance de l'état de l'humidité en (%) par rapport au précédent cultural et au mode de semis.

	s. variation	63 JAS	97 JAS	109 JAS	122 JAS	129 JAS	139 JAS	150 JAS	157 JAS
	<u>Effet mode de semis (F1)</u>								
	SD	20.17	16.12	18	11.48	10.85	9.80	9.50	9.73
	TC	22.60	17.77	20.44	12.88	12.26	9.04	7.33	8.11
H	Proba. F1	s	ns	ns	ns	ns	ns	s	ns
1	<u>Effet précédent (F2)</u>								
	L/B	20,86	16,38	18,70	11,77	11,34	8,97	8,05	8,80
	B/B	21,92	17,52	19,74	12,60	11,78	9,87	8,78	9,04
	Proba. F2	ns	Ns	ns	ns	ns	ns	ns	s
	P.intéraceton F1*2	S	Ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	CV(%)	7.87	6.64	12.79	12.60	6.92	17.84	20.30	10.19
	PPDS 5%	2.24	1.49	3.16	2.04	1.06	2.21	2.13	1.10
	<u>Effet mode de semis (F1)</u>								
	SD	21,19	16,31	18,57	13,32	12,63	11,50	10,97	11,33
	TC	23,66	18,66	19,70	14,65	14,04	11,11	10,12	11,94
H	Proba. F1	ns	S	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2	<u>Effet précédent (F2)</u>								
	L/B	22,25	17,05	18,94	13,47	13,01	10,92	10,09	11,48
	B/B	22,61	17,91	19,33	14,49	13,66	11,69	11,00	11,79
	Proba. F2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	S	ns
	P.intéraceton F1*2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	CV(%)	4.73	9.01	9.68	11.43	8.21	9.12	13.49	14.84
	PPDS 5%	1.41	2.02	2.52	2.12	1.45	1.37	2.01	1.93
	<u>Effet mode de semis (F1)</u>								
	SD	23,03	15,47	18,88	13,44	12,75	10,66	11,37	12,19
	TC	23,83	17,11	21,41	13,78	13,60	11,22	12,08	10,58
H	Proba. F1	ns	ns	S	ns	ns	ns	ns	ns
3	<u>Effet précédent (F2)</u>								
	L/B	23,30	16,19	19,82	13,08	12,75	10,78	11,47	10,94
	B/B	23,55	16,39	20,46	14,14	13,61	11,10	11,99	11,82
	Proba. F2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	P.intéraceton F1*2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	s
	CV(%)	7.03	7.78	13.08	10.63	8.22	10.73	13.75	7.01
	PPDS 5%	2.16	1.67	3.41	1.99	1.44	1.56	2.15	1.03

ns : non significatif, S : significatif, H1 : Horizon1 (0-10 cm), H2 : Horizon2 (10-20 cm), H3 : horizon3 (20-30 cm)

L'effet interaction des deux facteurs n'a été significatif qu'au début du cycle (63 JAS) au niveau de l'horizon 1 et à la fin du cycle (157 JAS) pour l'horizon 3 (Tableau 5.1).

Les résultats de la variation de la teneur en eau du sol du premier horizon en relation avec le précédent et la date de prélèvement pour les deux techniques culturales sont mentionnés sur le tableau 5.1 et illustrés par la figure 5.2.

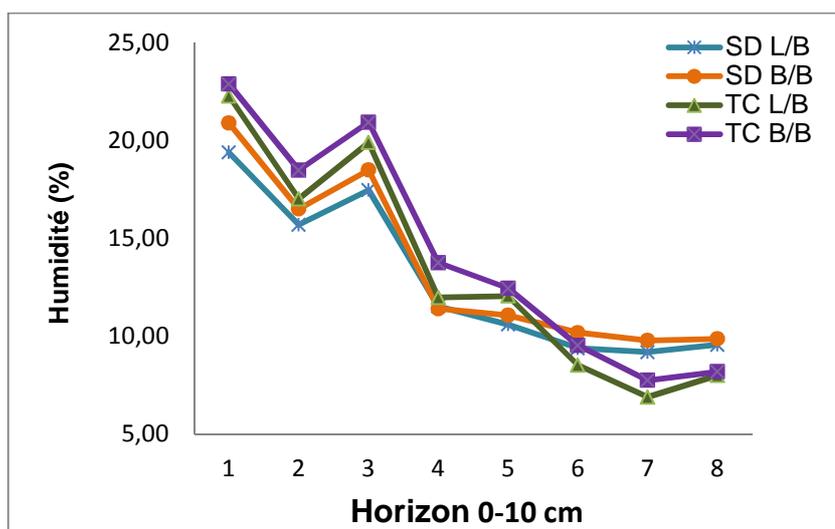


Figure 5.2 : Variation de l'humidité du sol du premier horizon en relation avec le précédent cultural et les dates de prélèvement pour les deux techniques culturales.

D'après la figure 5.2 et l'analyse des moyennes, on peut constater qu'au niveau du premier horizon, l'humidité du sol diffère pour les deux techniques. D'autres parts, le taux d'humidité atteint son maximum au niveau de la première date (63 JAS) pour le TC, il a atteint la valeur de 22.92% avec le précédent blé et 22.29% pour le précédent lentille; l'écart de la teneur en eau enregistré dans cette date pour la technique du semis direct par rapport à la valeur du conventionnel est de 2 % et 3 %, respectivement pour les précédents blé et lentille. On remarque toutefois au niveau des dates 5 et 6 un rapprochement entre les quatre courbes. C'est au niveau de la 7^{ème} date où l'humidité atteint sa plus basse valeur pour TC, on enregistre 7.76 % avec le précédent blé et 6.9% avec le précédent lentille, alors que pour le semis direct elle atteint son maximum avec 9 % pour les deux précédents culturaux. Au niveau de la dernière date, l'humidité se stabilise à 9% pour la technique du non labour et à 8% pour le travail conventionnel.

Ainsi le semis direct à l'avantage de garder l'humidité en situation de déficit hydrique. Ce qui permet à la plante un confort en matière d'alimentation hydrique durant la fin du cycle. Ce qui est en accord avec les résultats obtenus par RADFORD et al/[119], NADJEM [120].

L'humidité en surface à la fin du cycle est souvent plus importante dans le cas du non labour, ce qui favorise une bonne installation, et une meilleure tolérance de la sécheresse [121]. En effet THOMPSON et CHASE [122], révèle que les effets du manque d'eau aux stades épiaison et remplissage du grain sont plus pénalisants que ceux dont l'avènement survient au stade de tallage et montaison.

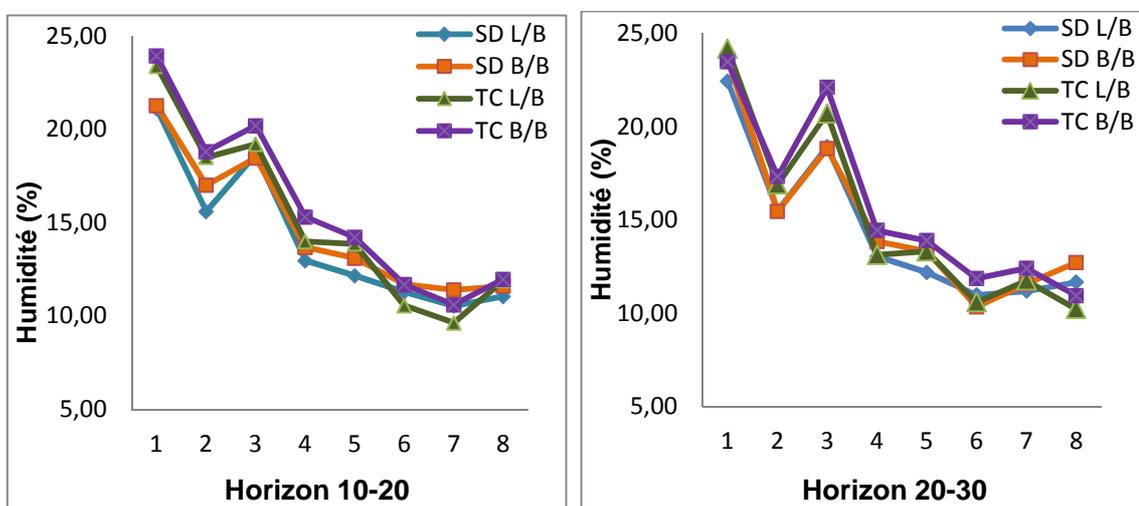


Figure 5.3 : Variation de l'humidité du sol des deux derniers horizons en relation avec la profondeur, le précédent cultural et les dates de prélèvement pour les deux modes de semis.

La figure 5.3 représente les résultats de la variation de la teneur en eau du sol de deux derniers horizons en relation avec le précédent et les dates de prélèvement pour les deux techniques culturales.

Au niveau du deuxième horizon, le constat n'est pas le même puisque les valeurs de l'humidité sont très rapprochées pour toutes les dates. L'humidité atteint son maximum pour les deux techniques au niveau de la première date, elle atteint les 23% pour TC et 21% pour le SD, elle commence à diminuer ensuite pour se stabiliser à 11% au niveau du dernier prélèvement qui coïncide avec le stade de maturation (157 JAS).

Pour le troisième horizon en comparaison avec le deuxième horizon, le constat est le même puisque les valeurs de l'humidité sont très rapprochées pour toutes les dates sauf la troisième date où le semis direct est bien derrière, et la dernière date où on enregistre un taux nettement plus élevé pour le semis direct ; cela peut être due à la forte évaporation de l'eau dans le sol travaillé. Ces valeurs indiquent que l'humidité est plus disponible au niveau de cet horizon, qui reste fortement colonisé par les racines [123]. Ce qui permet à la plante de trouver un certain confort hydrique en fin de cycle. Ces résultats confirment ceux obtenus par NORWODD [124], qui affirment que les eaux de pluies migrent plus en profondeur sous système de non labour que sous système conventionnel.

NOURI et al [125], à l'issue d'une étude comparative de la dynamique de l'eau dans les couches du sol entre le semis direct et le travail conventionnel affirment que le non labour valorise mieux les apports en préservant l'eau contenue dans le sol. MRABET [126], révèle que le non labour et le couvert végétal aident à prolonger la durée de dessèchement de la surface et gardent pour une période plus longue le sol plus humide.

La différence d'humidité chez les précédents est à l'avantage du blé tout le long de cycle (Tableau 5.1, figures 5.2 et 5.3), cette variation peut s'expliquer par la nature de l'enracinement et le taux du couvert végétal.

5.2.2. Densité apparente

La densité apparente du sol (D_a) nous renseigne sur la porosité du sol qui constitue une caractéristique majeure contrôlant les propriétés hydrodynamiques du sol et le développement racinaire des plantes. C'est aussi un indicateur de niveau de structuration du sol qui varie avec les techniques culturales employées. En sol compacté la densité apparente augmente, ce qui affecte la qualité du sol et diminue la porosité.

L'analyse de la variance portée en annexe (Tableau 3) révèle que la densité apparente varie significativement selon le mode de travail du sol, et l'interaction système x précédent, mais pas en fonction des précédents culturaux (Tableau 5.2).

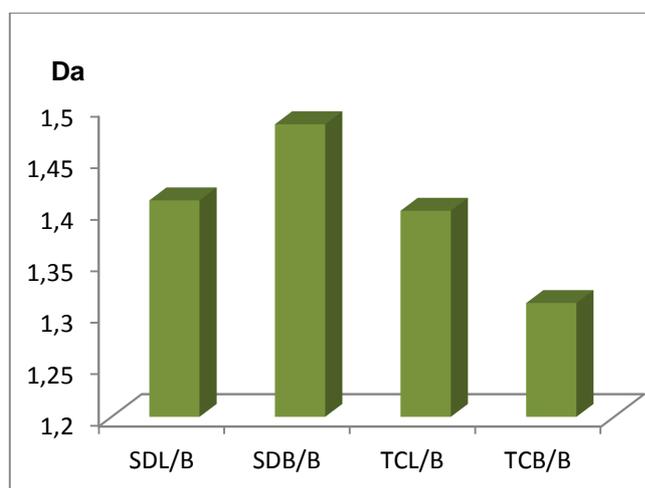


Figure 5.4 : Variation de la densité apparente du sol pour les deux techniques de semis combinées avec deux précédents culturaux.

La valeur moyenne de la densité apparente est plus élevée au semis direct (1.44) par rapport au semis conventionnel (1.35) avec une $ppds_{5\%}$ de 0.075. Les valeurs moyennes minimales de la densité apparente sont enregistrées chez le semis direct avec 1.36 et le semis conventionnel avec 1.25, alors que les valeurs maximales sont de 1.53 et de 1.46 pour le SD et le SC respectivement (Figure 5.4).

On observe une nette différence des valeurs de la densité apparente qui révèle que le semis direct présente les valeurs les plus élevées. Ces résultats semblent être attribués à l'introduction récente du système au niveau de la parcelle, qui devrait connaître une amélioration au fur et à mesure de la maturité du système. En effet ils sont en contradiction avec la bibliographie. MRABET [11], révèle que le non labour améliore les propriétés physiques et chimiques du sol par rapport au conventionnel notamment la densité apparente. ABDELAOUI et al [127] en conditions subhumide ont montré que le non labour affecte positivement les propriétés du sol.

5.2.3. Vitesse d'infiltration de l'eau

Les résultats de l'analyse de la variance de la perméabilité (K) à l'état saturé mentionnés en annexe (Tableau 4) montrent un effet hautement significatif entre le non labour et le travail conventionnel, et un effet non significatif pour les

différents types de précédents culturaux et pour l'interaction système x précédent (tableau 5.2).

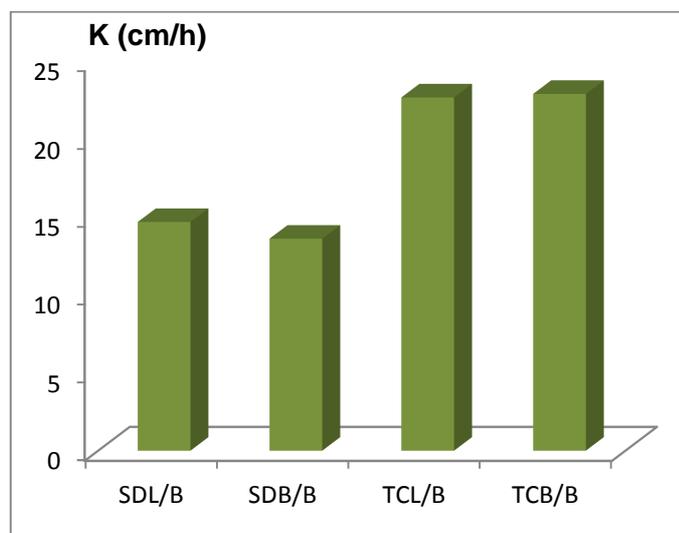


Figure 5.5 : Variation de la perméabilité du sol pour les deux techniques de semis combinées avec deux précédents culturaux.

L'eau s'infiltre dans le sol labouré environ deux fois plus vite que dans le sol non labouré (Figure 5.5). La moyenne de K est de 22,79 cm/h et 14,13 cm/h pour le semis conventionnel et le semis direct, respectivement ($P_{pds_{5\%}} = 2.27$). Ce résultat semble être logique avec les valeurs de la densité apparente et confirme ceux obtenus par FORTAS et HAMSİ [128], dans les mêmes conditions d'expérimentation. A l'inverse ces valeurs contestent ceux rapportés par ANGAR et al [129], rapportant une augmentation dans le temps du taux d'infiltration en conduite non labour en comparaison avec le système conventionnel.

5.2.4. Résistance pénétrométrique (compaction du sol)

Nos observations sur l'évolution de la résistance pénétrométrique (R_p) du sol en relation avec les techniques culturales et les précédents sont mentionnées dans le tableau 5.2 et présentées graphiquement dans la figure 5.6.

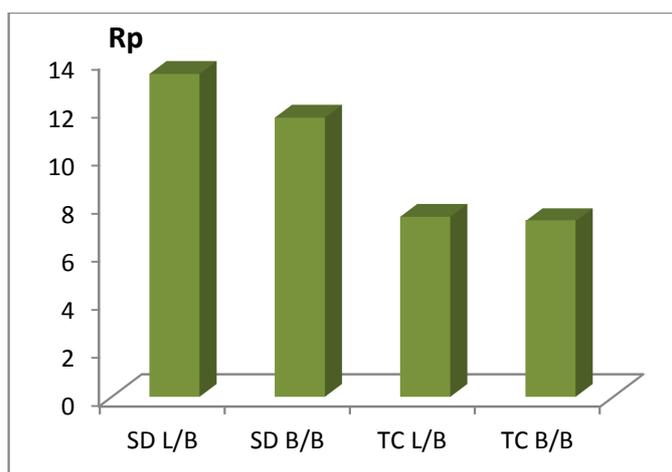


Figure 5.6 : Variation de la résistance pénétrométrique du sol en relation avec le mode de semis et le type du précédent.

L'analyse de la variance portée en annexe (Tableau 05) révèle un effet système (F1) hautement significatif. Par contre l'effet précédent (F2), et l'interaction système x précédent (F1xF2) affichent des valeurs non significatives (tableau 5.2). Le test de Newman et keuls au seuil de 5% fait ressortir deux groupes statistiques fortement liés aux systèmes de cultures utilisés. Le premier groupe (a) englobe le système semis direct avec une moyenne générale de 12,51 kg/cm², alors que le second groupe (b) représente le système conventionnel dont la valeur moyenne est nettement plus faible (7,4 kg/cm²), dont la $ppds_{5\%}$ est 1.65 kg/cm². Ces résultats semblent être logiques avec la nature des systèmes de culture employés.

5.2.5. Matière organique

Les taux moyens de la matière organique, ainsi que l'interprétation statistique des résultats sont présentés dans le tableau 5.2.

Les tableaux de l'analyse de la variance du taux moyen de la matière organique de chaque horizon sont portés en annexe (Tableau 6, 7 et 8).

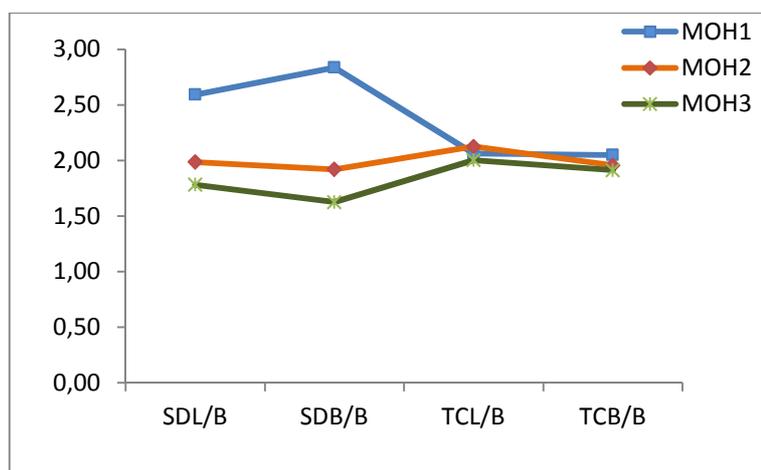


Figure 5.7 : Taux moyens de la matière organique de chaque horizon en relation avec la profondeur pour les deux techniques combinées avec les deux précédents culturaux.

Les résultats de l'analyse de la variance de ce paramètre présentent un effet système de travail du sol pour le premier horizon et un effet précédent pour le dernier horizon par contre un effet non significatif a été noté pour l'ensemble des variables restants.

D'après les résultats portés dans le tableau 5.2 et la figure 5.7, la matière organique est plus élevée dans la couche (0-5 cm) sous le non labour que sous le labour conventionnel, alors que dans les couches (5-20 et 20-30 cm) on ne distingue pas de différence significative entre les deux systèmes de labour. Le non retournement du sol sous le système semis direct est responsable de l'accumulation du carbone organique à la surface du sol, alors que le contenu faible en carbone du sol sous le travail conventionnel peut être imputé à une minéralisation accentuée sous l'effet de l'intensification du travail du sol.

Les résultats comparables dans la couche (5-30 cm) nous permettent de conclure que la concentration du carbone à la surface du sol n'a pas de répercussions négatives sur la couche profonde en comparant le non labour au labour conventionnel. Il y a une stratification du carbone organique en surface sous le système semis direct, sans appauvrissement en cet élément en profondeur. Après trois années d'expérimentation en semis direct et système conventionnel, ces résultats correspondent avec ceux obtenus par BESSAM et MRABET [130], et également énoncés par BOUZRARA [131]. Ces auteurs

affirment que le taux de la matière organique superficiel évolue de façon remarquable sous semis direct.

Concernant l'effet des précédents culturaux, le précédent blé a montré le taux de la matière organique le plus élevé dans la couche de surface (0-5 cm), alors que le précédent lentille montre le taux le plus faible. Le taux de la matière organique dans les deux derniers horizons (5-20 et 20-30 cm) présente des valeurs comparables pour les deux précédents.

Les différents effets des précédents sur le taux de la matière organique reflètent l'importance des caractéristiques morphologiques des différentes cultures et le type de résidus dans l'amélioration du taux de la matière organique dans le sol [131].

Cependant, au niveau des trois horizons, on remarque une nette différence de répartition de la matière organique pour la technique du non labour, par contre le travail conventionnel enregistre un peu d'équilibre.

Tableau 5.2 : Moyennes et résultats de l'analyse de la variance des propriétés liées au sol.

s. variation	Da	K	Rp	MO H1	MO H2	MO H3
<u>Effet mode de semis (F1)</u>						
SD	1.44	14.13	12.51	2.89	1.98	1.72
TC	1.35	22.79	7,40	2.44	2.06	1.8
P roba. F1	0.02*	0.0001***	0.0001***	0.03*	0.73 ^{ns}	0.94 ^{ns}
<u>Effet précédent (F2)</u>						
L/B	1.40	18.67	10.45	2.56	2.14	1.83
B/B	1.39	18.25	9,46	2.77	1.90	1.69
P roba. F2	0.80 ^{ns}	0.68 ^{ns}	0.2035 ^{ns}	0.28 ^{ns}	0.82 ^{ns}	0.92*
<u>P.intéraction F1*F2</u>	0.03*	0.53 ^{ns}	0.2893 ^{ns}	0.37 ^{ns}	0.31 ^{ns}	0.24 ^{ns}
CV(%)	4.04	9.26	12.51	11.93	15.03	9.10
PPDS 5%	0.075	2.27	1.65	0.42	0.34	0.12

ns : non significatif, * : significatif, *** : très hautement significatif, Da : Densité apparente. K : Vitesse d'infiltration de l'eau, Rp : Résistance pénétrométrique, MO H1 : Matière organique du premier horizon (0-5cm), MO H2 : Matière organique de 2^{ème} horizon (5-20cm), MO H3 : Matière organique de 3ème horizon (20-30cm).

5.2.6. Description morphologique des deux profils culturaux

A partir de la description du profil cultural, 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 humidité. Dans les deux profils effectués (SD, 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. 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) 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. A l'égard de cette description, peu de différences morphologiques existent entre les deux profils culturaux (SD, TC). Par contre quelques dissemblances apparaissent au niveau de la compacité, le développement du système racinaire, la présence d'activités biologiques, et la répartition de l'humidité dans le sol. Le semis direct apparaît comme le plus compact, ce qui confirme les résultats obtenus sur la mesure de la densité apparente. Le travail conventionnel présente clairement une bonne fragilité des mottes. En ce qui concerne le système racinaire, le TC se caractérise par un bon développement racinaire par rapport à la technique du non labour.

5.3. Effet du travail du sol et du précédent cultural sur l'installation de la culture

5.3.1. Caractères physiologiques

Les valeurs moyennes des caractères physiologiques et l'interprétation statistique des résultats sont consignées dans le tableau 5.3.

Tableau 5.3 : Valeurs moyennes de la teneur relative en eau (TRE), la chlorophylle (Chlo) et la température cumulé à l'épiaison (TC Σ).

s. variation	TRE	Chlo	TC Σ
<u>Effet mode de semis (F1)</u>			
SD	79.84	44.84	938.10
TC	76.43	45.06	869.95
P roba. F1	0.02*	0.91 ^{ns}	0.0001**
<u>Effet précédent (F2)</u>			
L/B	78.64	46.88	908.04
B/B	77.63	43.01	900.01
P roba. F2	0.42 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.2844 ^{ns}
P.intéraceton F1*2	0.91 ^{ns}	0.01*	0.2844 ^{ns}
CV(%)	2.68	7.47	1.34
PPDS 5%	2.79	4.47	16.13

ns : non significatif, * : significatif, ** : hautement significatif,

5.3.1.1. Teneur relative en eau de la feuille

Les résultats de l'analyse de la variance de la teneur relative en eau (TRE) qui portés en annexe (Tableau 9). indiquent un effet système significatif, alors que le facteur précédent et l'interaction système x précédent ne l'étaient pas.

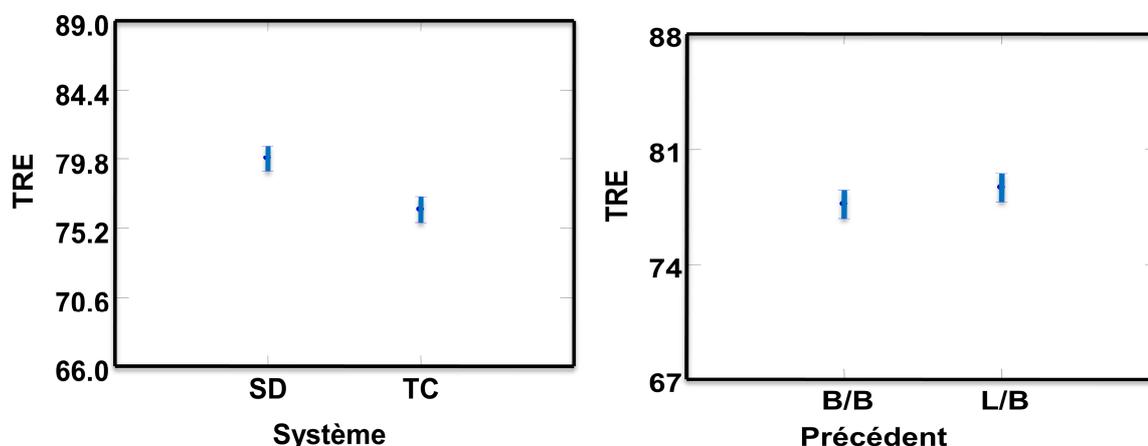


Figure 5.8 : Teneur relative en eau de différents traitements étudiés.

L'analyse des valeurs moyennes de la TRE indique un avantage marqué pour le semis direct avec une moyenne de 79.84 % contre 76.43 % pour le travail conventionnel ($ppds_{5\%} = 2.79 \%$) (Tableau 5.3 et Figure 5.8). Le semis direct affiche une supériorité de 1.71% par rapport à la moyenne de l'essai, par contre le TC donne une moyenne inférieure à la moyenne de l'essai (- 1.7).

5.3.1.2. Teneur en chlorophylle

Les taux moyens de la chlorophylle, ainsi que l'interprétation statistique des résultats sont présentés dans le tableau 5.3.

Le tableau de l'analyse de la variance du taux moyen de la chlorophylle est porté en annexe (Tableau 10).

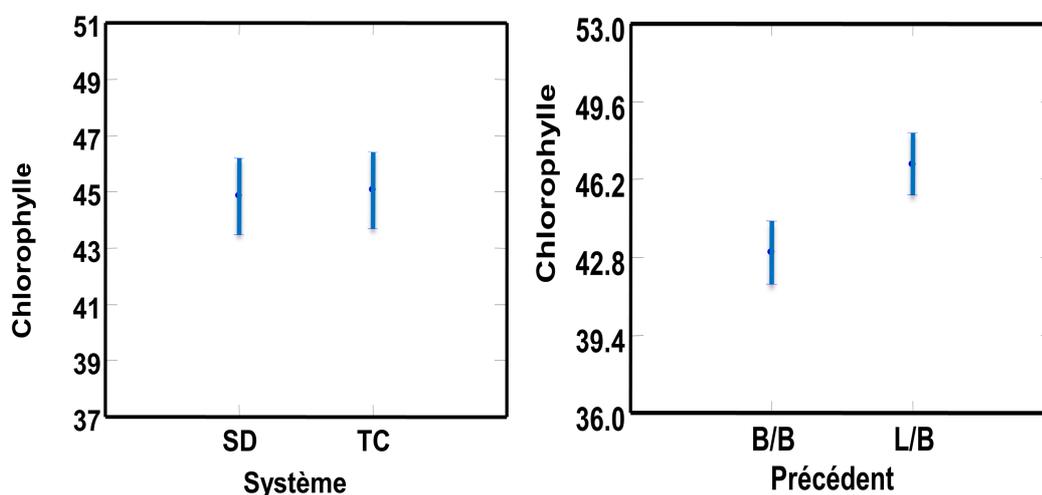


Figure 5.9 : Taux de chlorophylle présente dans les feuilles en unité SPAD des différents traitements étudiés.

L'analyse de la variance montre une différence non significative entre les modes de travail du sol et les précédents culturaux. Alors que l'interaction système x précédent ($F1 * F2$) présente une différence significative pour ce paramètre.

Cependant, le semis direct indique une valeur de 45.06 Spad, alors que le TC a une valeur de 44.84 Spad, cela peut être dû à la présence des résidus au niveau du sol non travaillé. Alors que le précédent lentille affiche une valeur de

46.88 Spad qui reste supérieure à celle donnée par le précédent blé (43.08 Spad) (Figure 5.9). Ceci semble être attribué à l'azote résiduaire obtenu après une légumineuse.

5.3.1.3. Température cumulée à l'épiaison

L'étude de la précocité a été faite à partir de la somme des températures cumulées au cours de la période allant du semis à l'épiaison.

Les résultats de l'analyse de la variance et l'interprétation statistique sont portés en annexe (Tableau 11).

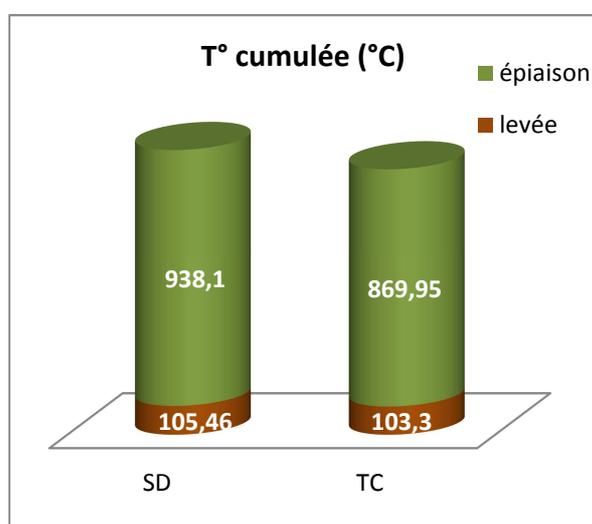


Figure 5.10 : Variation de la température cumulée du semis à la levée et à l'épiaison en fonction du système de culture.

L'analyse de la variance de la température cumulée du semis à l'épiaison montre un effet mode de semis hautement significatif. En effet le test Newman et Keuls au seuil de 5% fait ressortir deux groupes homogènes. Par contre, le facteur précédent et l'interaction (F1 * F2), affichent des valeurs non significatives (Tableau 5.3).

L'analyse des moyennes nous indique que le travail conventionnel (TC) présente une plus grande précocité à l'épiaison comparativement au semis direct (SD), avec une moyenne de température cumulée varie de 869.95 °C pour le TC à

938.10 °C pour le SD dont la ppds_{5%} est 16.13 °C, soit un excédent de 68.15°C pour ce dernier (Figure 5.10). Cela signifie que le semis direct à travers le paillis exerce une certaine fraîcheur sur le sol qui est responsable de la tardivité de celui-ci.

5.3.2. Caractères agronomiques

Les valeurs moyennes des caractères agronomiques et l'interprétation statistique des résultats sont consignées dans le tableau 5.4.

Tableau 5.4 : Valeurs moyennes des caractères agronomiques de la culture pour les différents traitements étudiés.

s. variation	NP/m ²	IT	Ht P	NE/m ²	NGE	PMG
<u>Effet mode de semis (F1)</u>						
SD	221.24	1.15	57.06	215.69	27.07	33.43
TC	258.50	1.11	63.11	290.18	25.32	31.74
P roba. F1	0.76 ^{ns}	0.4 ^{ns}	0.001**	0.004**	0.72 ^{ns}	0.03*
<u>Effet précédent (F2)</u>						
L/B	285.95	1.12	57.23	278.91	28.09	32.37
B/B	193.79	1.14	60.17	226.96	24.21	32.80
P roba. F2	0.001**	0.61 ^{ns}	0.001**	0.027*	0.45 ^{ns}	0.54 ^{ns}
P.intéraction F1*2	0.155 ^{ns}	0.91 ^{ns}	0.927 ^{ns}	0.017*	0.57 ^{ns}	0.009**
CV(%)	13.25	7.32	3.56	13.26	32.99	3.58
PPDS 5%	42.32	0.11	2.85	44.67	11.48	1.55

ns : non significatif, * : significatif, ** : hautement significatif, NP/m² : Nombre de plants/m², IT : Indice de tallage, Ht P : Hauteur des plants, NE/m² : Nombre d'épis/ m², NGE : Nombre de grains/épis, PMG : Poids de 1000 grains.

5.3.2.1. Nombre de pieds levés par mètre carré

Le nombre de pieds levés par unité de surface, ainsi que l'interprétation statistique des résultats sont présentés dans le tableau 5.4.

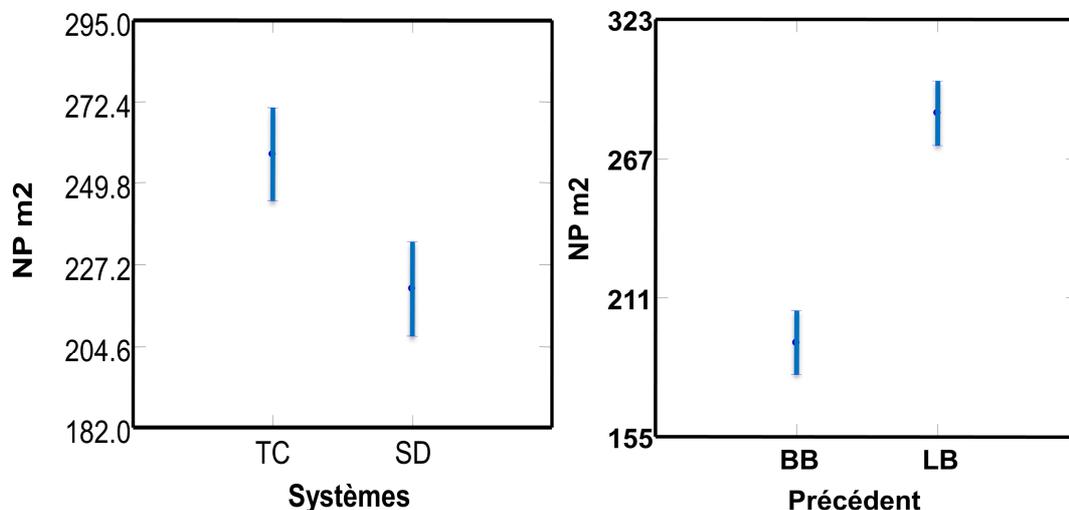


Figure 5.11 : Nombre de pieds levés par mètre carré pour les différents traitements étudiés.

L'analyse de la variance du nombre de plants levés par unité de surface semée mentionnée en annexe (Tableau 12) ne montre aucun effet système, par contre elle marque un effet précédent hautement significatif. L'étude des moyennes indique des différences de levée plus marquées pour le précédent lentille qui permet une levée plus importante, avec une moyenne de 285.95 plants/m², contre 193.79 plants/m² pour le blé, ($ppds_{5\%} = 42.32$) (Tableau 5.4, Figure 5.11).

Une explication partielle relative aux pieds moins élevés dans le semis direct réside dans la forte présence de mauvaises herbes notamment le Brome et la folle avoine. Ces mauvaises herbes ont exercé une forte concurrence et elles germent en même temps que la céréale et les accompagnent durant tout leur cycle de développement. A cela, il faut ajouter les pertes notées au stade levée dans le traitement semis direct, elles sont dues en partie à l'état structural du sol défavorable (densité apparente de 1,42).

5.3.2.2. Indice de tallage

Les valeurs moyennes de ce caractère, ainsi que l'interprétation statistique des résultats sont présentées dans le tableau 5.4 et la figure 5.12.

Le tableau de l'analyse de la variance de l'indice de tallage est porté en annexe (Tableau 13).

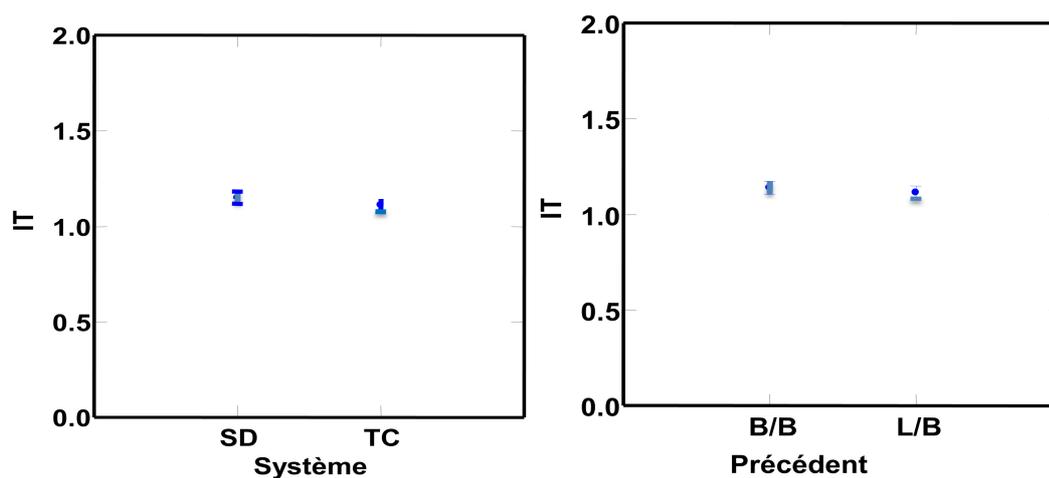


Figure 5.12 : Indice de tallage de différents traitements étudiés.

L'analyse de la variance nous indique qu'il n'y a pas d'effet ni pour le mode de semis, ni pour le précédent cultural pour ce caractère.

5.3.2.3. Hauteur des plants

Le tableau de l'analyse de la hauteur des plants est porté en annexe (Tableau 14).

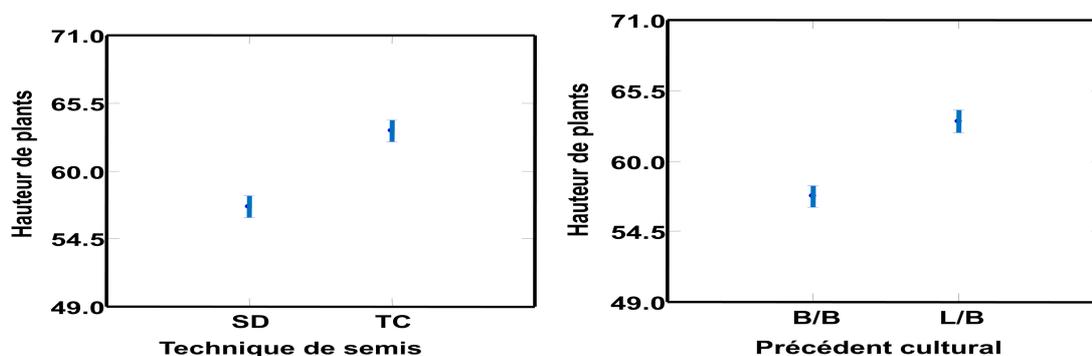


Figure 5.13 : Hauteur de la tige de différents traitements.

L'analyse de la variance de la hauteur des plants à maturité indique un effet mode de semis et précédent hautement significatif, alors que l'interaction système x précédent ($F1 \times F2$) ne présente aucune signification (Tableau 5.4).

L'étude des valeurs moyennes chez les deux modes de semis indique l'avantage du système conventionnel avec une moyenne de 63.28 cm, formant ainsi à lui seul un groupe statistique, alors que la moyenne ne dépasse pas 57.06 cm au semis direct (Tableau 5.4 et Figure 5.13).

Le test de Newman-Keuls à 5% répartit l'effet du précédent en deux groupes homogènes, la hauteur la plus élevée est notée en présence de la légumineuse avec une moyenne de 63.11 cm par contre le précédent blé n'a donné que 57.23 soit une différence de 6 cm.

5.3.2.4. Nombre d'épis par mètre carré (Ne/m^2)

L'analyse de la variance du nombre d'épis/ m^2 portée en annexe (Tableau 15) indique un effet hautement significatif pour le mode de semis et l'interaction système x précédent ($F1 * F2$), ainsi que un effet significatif pour le précédent cultural. Ceci indique que les facteurs étudiés ont engendrés des variations sur le peuplement épis, qui reste une composante essentielle de la productivité en grains.

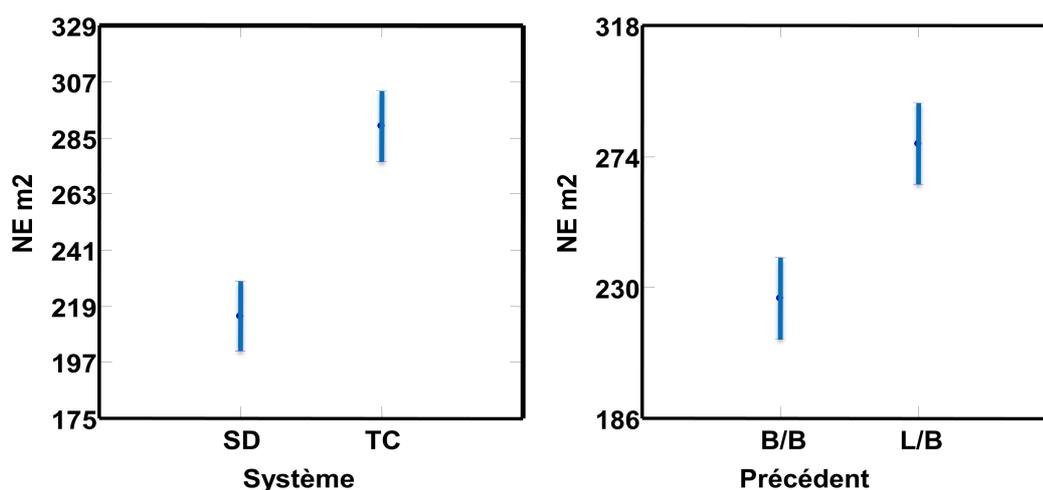


Figure 5.14 : Nombre d'épis élaboré par mètre carré de différents traitements étudiés.

L'étude des valeurs moyennes, chez les deux modes de semis, fait ressortir deux groupes statistiques. Le premier groupe montre un avantage marqué pour le travail conventionnel avec une moyenne de 290.18 épis/m², alors que le second indique que le semis direct enregistre 215.69 épis/m² (Figure 5.14). Cette valeur reste inférieure à la moyenne générale de l'essai qui est de l'ordre de 252.93 épis/m². Le travail conventionnel affiche un nombre d'épis par unité de surface de 34.53 % de plus que le semis direct.

Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% fait ressortir deux groupes statistiques fortement liés aux précédents culturaux utilisés. Le premier groupe (a) englobe le précédent lentille avec une moyenne générale de 278.91 épis/m², alors que le second groupe (b) représente le précédent blé dont la valeur moyenne est nettement plus faible (226.96 épis/m²), dont la $ppds_{5\%}$ est 44.67 épis/m² (tableau 5.4).

Le précédent lentille donne +51.95 épis/m² et +25.95 épis/m² respectivement par rapport au précédent blé et à la moyenne de l'essai. A l'inverse des autres facteurs, ce résultat révèle que le système conventionnel et la légumineuse, jumelé à un confort d'humidité durant la période de formation des talles ont favorisés l'expression génétique de la variété pour le caractère peuplement épis.

5.3.2.5. Nombre de grains par épi (NGE)

Les résultats de l'analyse de la variance de nombre de grains par épis (NGE) mentionnés en annexe (Tableau 16) n'affiche aucune différence significative ni pour le mode de semis, ni pour le précédent, et même pour l'interaction F1 * F2.

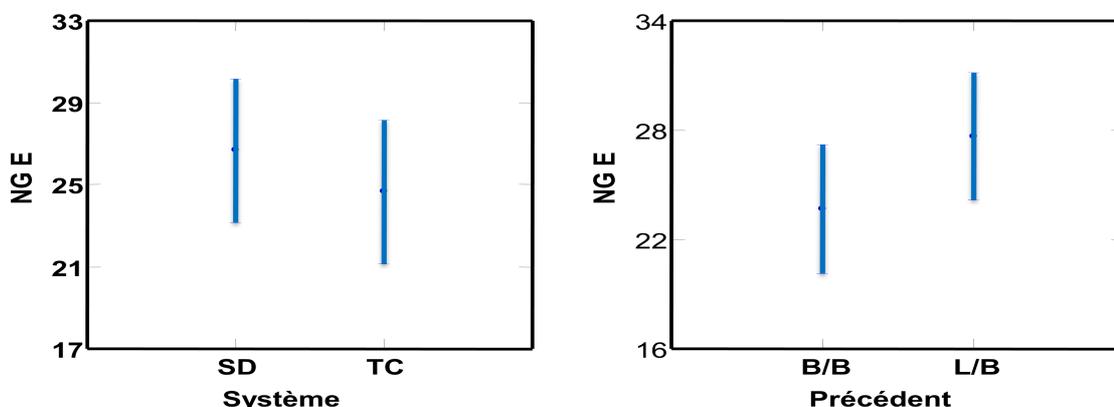


Figure 5.15 : Nombre de grains par épi des différents traitements étudiés.

Néanmoins, les résultats indiquent que le semis direct (SD) a présenté le nombre de grains par épi le plus élevé (27.07), tandis que le semis conventionnel (TC) a montré la valeur de 25.32 (Figure 5.15). Le précédent lentille présente une supériorité du nombre de grains par épi de 3.88 comparativement au précédent blé, mais cette valeur reste non significative (inférieure à la $ppds_{5\%}$ qui égale à 11.48) (Tableau 5.4).

5.3.2.6. Poids de mille grains

L'analyse de la variance du poids de mille grains (PMG) portée en annexe (Tableau 17) indique un effet mode de semis significatif, une différence non significative pour le facteur précédent, et une différence hautement significative pour l'interaction système x précédent.

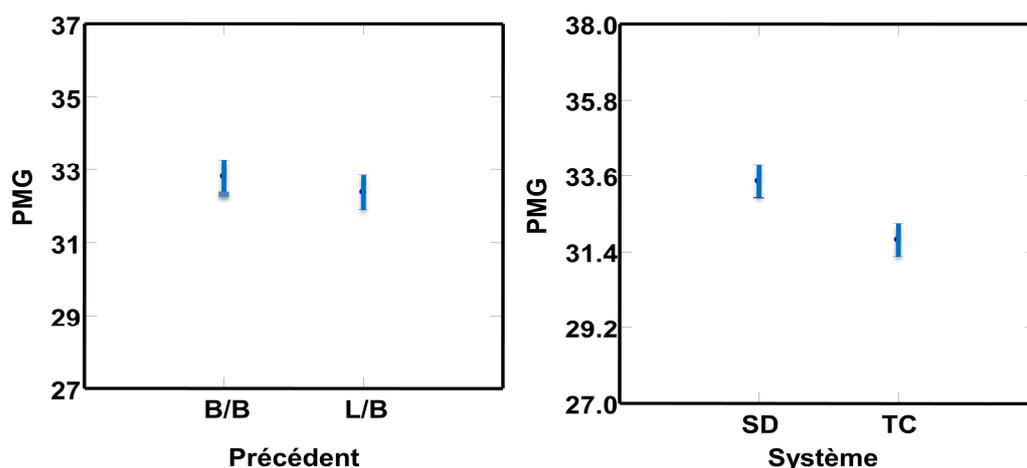


Figure 5.16 : Poids de mille grains de différents traitements étudiés.

L'analyse des moyennes des systèmes employés dans cette étude indique un avantage marqué pour le semis direct dont la valeur est de 33.43g, par rapport au travail conventionnel où la valeur est de 31.74g (Tableau 5.4 et Figure 5.16). Ceci semble être en rapport avec le taux d'humidité à l'avantage du semis direct en fin du cycle.

HANNACHI et FELLAHI [133], révèlent que les traitements qui produisent plus d'épis par m^2 , n'arrivent pas avoir un poids de 1000 grains élevé.

5.3.3. Rendements

Tableau 5.5 : Valeurs moyennes des rendements de la culture du blé dur pour les différents traitements.

s. variation	RDT	RDTbio	PLL	IR
<u>Effet mode de semis (F1)</u>				
SD	18.81	33.76	14.94	55.10
TC	23.08	38.59	17.23	89.8
P roba. F1	0.19 ^{ns}	0.33 ^{ns}	0.703 ^{ns}	0.01*
<u>Effet précédent (F2)</u>				
L/B	25.43	43.79	20.17	57.8
B/B	16.46	28.56	12.09	57
P roba. F2	0.01*	0.01*	0.216 ^{ns}	0.61 ^{ns}
P.intéraccetion F1*2	0.73 ^{ns}	0.85 ^{ns}	0.753 ^{ns}	0.10 ^{ns}
CV(%)	32.99	22.79	64.54	4.58
PPDS 5%	6.92	10.98	12.76	35

ns : non significatif, * : significatif, RDT : Rendement en grains, RDTbio : Rendement en biomasse aérienne, PLL : Rendement en paille, IR : Indice de récolte.

Les valeurs moyennes des rendements et l'interprétation statistique des résultats sont consignées dans le tableau 5.5.

5.3.3.1. Rendement en grain

L'analyse de la variance du rendement en grains porté en annexe (Tableau 18) révèle une différence non significative entre les deux modes de semis, et pour l'interaction système x précédent (F1xF2). Cependant, une différence significative entre les deux précédents est enregistrée.

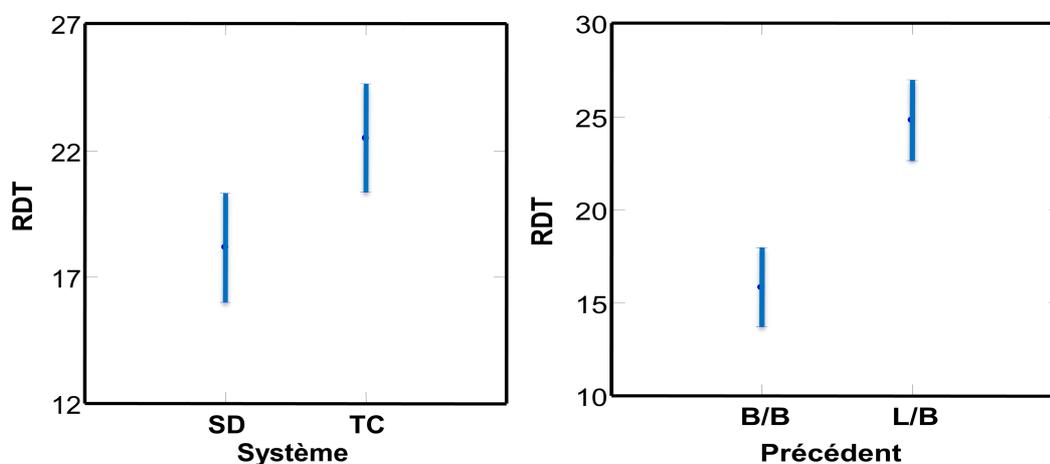


Figure 5.17 : Rendement en grains de différents traitements étudiés.

L'analyse des moyennes montre que la culture du blé dur sur les chaumes d'une légumineuse enregistre une moyenne de 25.43 q/ha qui reste supérieure à celle élaborée sur les chaumes d'une céréale (16.46 q/ha) soit 21.41% (Figure 5.17 et Tableau 5.5).

La lentille comme précédent a engendrée une croissance du rendement en grains de 121.44 % et de 154.49 % par rapport à la moyenne de l'essai et l'autre précédent (blé), respectivement. La moyenne des rendements grains chez les deux modes de semis, révèle une diminution de -10.18 % en semis direct par rapport à la moyenne générale de l'essai, par contre le travail conventionnel affiche une augmentation de 10.21% par rapport à la moyenne générale de l'essai. Ce résultat peut être attribuées au nombre d'épis/m² obtenu par le système conventionnel et la légumineuse comme précédent.

5.3.3.2. Rendement en biomasse aérienne (RDTbio)

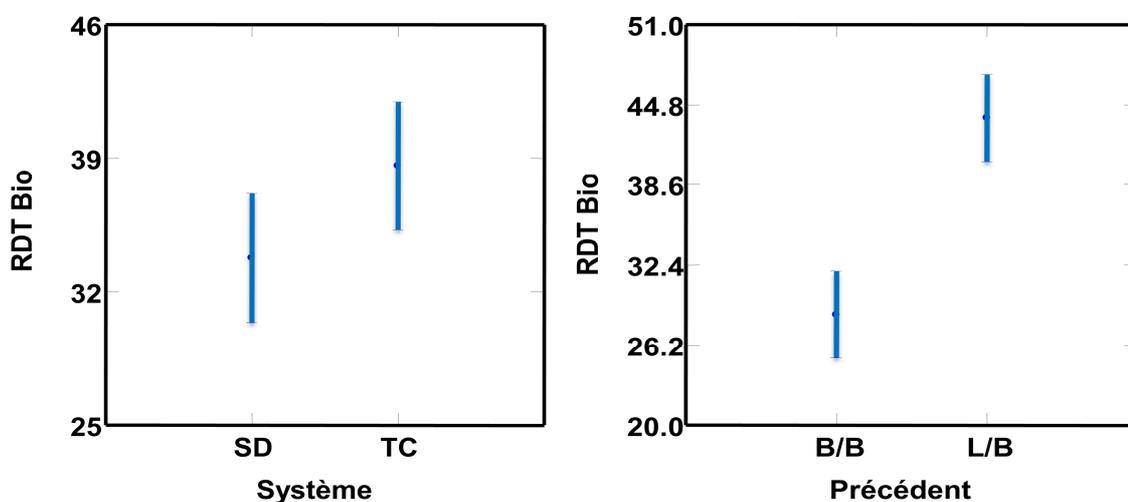


Figure 5.18 : Rendement en biomasse aérienne de différents traitements étudiés.

Les résultats de l'analyse de la variance de la biomasse aérienne mentionnés en annexe (Tableau 19) ne révèlent aucune différence significative entre les différents modes de semis. Néanmoins, une différence significative entre les précédents a été enregistrée.

Le test de Newman et keuls au seuil de 5% fait ressortir deux groupes statistiques fortement liés aux précédents de cultures utilisés. Le premier groupe (a) englobe le précédent lentille avec une moyenne générale de 43.79 q/ha, alors que le second groupe (b) représente le précédent blé dont la valeur moyenne est plus faible (28.56 q/ha) (tableau 5.5 ; Figure 5.18). La lentille utilisée comme précédent a manifesté une croissance de rendements biologique de 121.03% et de 153.32 % par rapport à la moyenne générale de l'essai, et l'autre précédent (blé), respectivement. Cette supériorité est due à l'enrichissement du sol en azote par cette culture.

5.3.3.3. Rendement en paille (PLL)

L'analyse de la variance mentionnée en annexe (Tableau 20) ne révèle aucune différence significative pour tous les traitements étudiés.

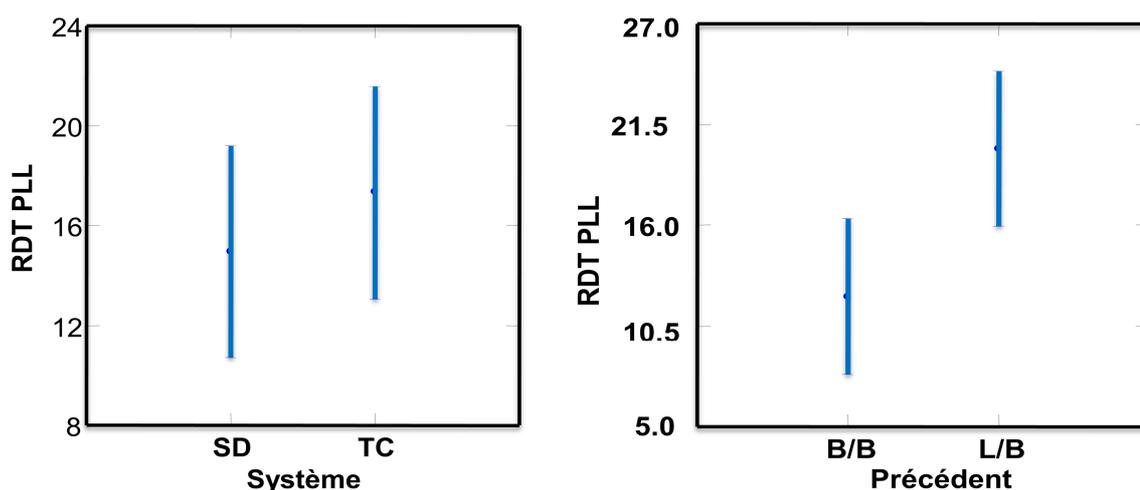


Figure 5.19 : Rendement en paille de différents traitements étudiés.

Le semis conventionnel indique une valeur de 17.23 q/ha, alors que le SD a une valeur de 14.94 q/ha. Cependant le précédent lentille affiche une valeur de 20.17 q/ha qui reste supérieure à celle donnée par le précédent blé (12.09 q/ha) (Tableau 5.5 ; figure 5.19). Ceci semble logique en le comparant par le rendement en grains et le rendement biologique.

5.3.3.4. Indice de récolte(IR)

Les résultats de l'analyse de la variance de l'indice de récolte, ainsi que l'interprétation statistique sont portés en annexe (Tableau 21).

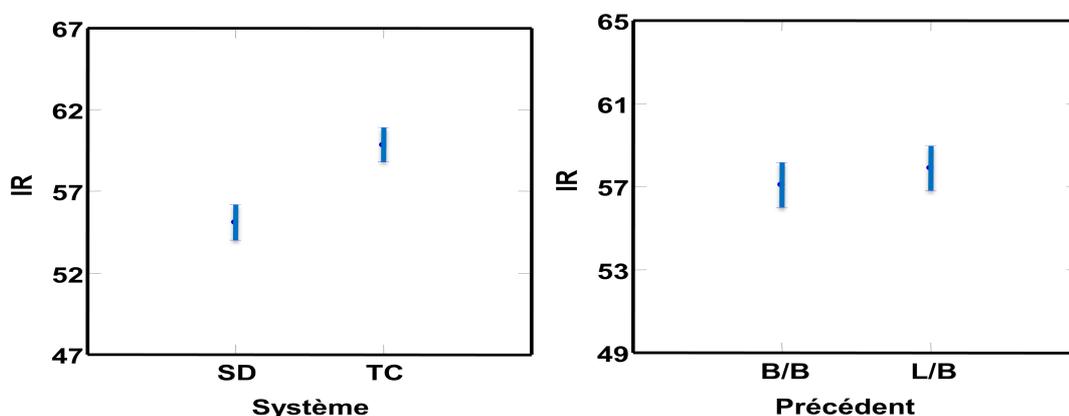


Figure 5.20 : L'indice de récolte de différents traitements étudiés.

Les résultats de l'analyse de la variance de l'indice de récolte (portés en annexe (Tableau 21) révèlent une différence significative entre les modes de semis, tandis que les deux précédents n'ont montré aucune différence.

5.4. Effet de différents traitements sur la densité des mauvaises herbes

Tableau 5.6 : Valeurs moyennes du nombre de plants des mauvaises herbes enregistré en unité de surface des différents traitements étudiés.

s. variation	Nbr MH
<u>Effet mode de semis (F1)</u>	
SD	35.16
TC	17.83
P roba. F1	0.0001***
<u>Effet précédent (F2)</u>	
L/B	22.00
B/B	31.00
P roba. F2	0.0016***
P.intéraction F1*2	ns
CV(%)	12.61
PPDS 5%	4.44

ns : non significatif, *** : très hautement significatif. Nbr MH : Nombre de plants de mauvaises herbes.

Les valeurs moyennes de la densité des mauvaises herbes estimées ainsi que l'interprétation statistique des résultats obtenus sont consignées dans le tableau 5.6.

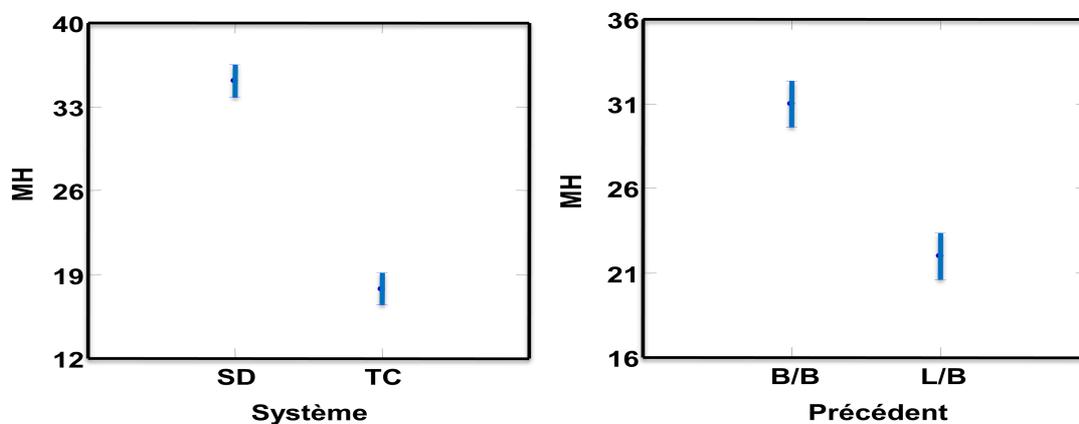


Figure 5.21 : Densité des mauvaises herbes des différents traitements étudiés.

L'analyse de la variance de la densité des mauvaises herbes estimée portée en annexe (Tableau 22) a révélé un effet très hautement significatif pour le facteur mode de semis ainsi que le précédent cultural dont le coefficient de variation est de 12.61%.

Le classement des moyennes par le test de Newman-Keuls a distingué deux groupes homogènes pour le mode de semis, le premier groupe est représenté par le système semis directe qui a révélé une moyenne de 35.16 plants par mètre carré alors que le semis conventionnel représente le deuxième groupe avec une moyenne de 17.83 plants par m² (Tableau 5.6 et Figure 5.21).

Concernant le facteur type de précédent, on observe que la densité de mauvaises herbe la plus élevée a été enregistrée dans les parcelles dont le précédent est le blé (31 plants/m²), alors que une valeur de 22 plants/m² a été enregistré par le précédent lentille (Tableau 5.6 et Figure 5.21).

La présente étude montre que les pertes de rendements sont considérées comme liées à l'abondance des mauvaises herbes dans les cultures (Figure 5.22).

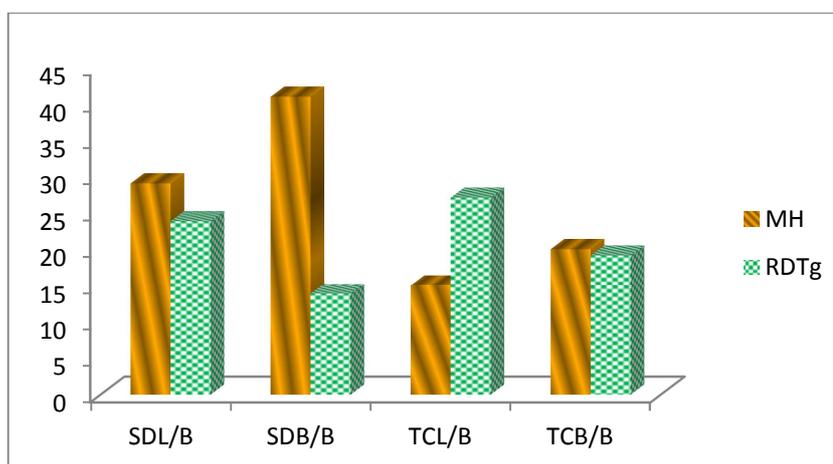


Figure 5.22 : Évolutions du rendement en grains vis-à-vis de la densité des mauvaises herbes des différents traitements étudiés.

L'installation d'une culture et le contrôle des mauvaises herbes par des interventions aratoires engendrent des pertes en matière organique sous rotations de culture continues. Ces pertes peuvent être réduites en introduisant des légumineuses dans les rotations ou en maintenant des niveaux importants de résidus des plantes en surface et en application des désherbants.

5.5. Analyse de corrélation entre paires de caractères

L'étude des relations entre les variables mesurées sur la culture indique que le rendement en grain est lié positivement avec le rendement biologique (biomasse produite par mètre carré) ($r = 0.99^{**}$) et le nombre de plant levés par m^2 ($r = 0.98^{**}$). Le rendement biologique est positivement corrélé avec le nombre de plant levés par m^2 ($r = 0.97^{**}$) et le rendement en paille ($r = 0.95^{**}$). Ces résultats suggèrent que les traitements qui produisent plus de paille produisent également plus de grain. Les valeurs des coefficients de régression du rendement en grains et la biomasse aérienne ($R^2 = 0,97$) et également le rendement en grains et le peuplement départ ($R^2 = 0,96$), mettent en relief la contribution de ces variables dans la confection du rendement final (Figure 5.23).

La production de paille reste une composante principale dans le cas de la pratique du non labour notamment dans les zones semis arides caractérisées par le système de culture céréale-élevage et là où elle est utilisée soit comme aliment du bétail ou rester sur champ pour servir de couvert végétal [133].

Tableau 5.7 : Coefficients de corrélation (en dessous) et probabilité (en dessus) entre les variables mesurées chez le végétale.

	TCE	P/M ²	Htp	IT	E/m ²	n°G/E	PMG	RDTp	RDTb	RDTg	IR
TCE		0,968	0,531	0,405	0,555	0,494	0,575	0,992	0,982	0,888	0,295
P/M ²	-0,03		0,123	0,227	0,172	0,619	0,435	0,132	0,028	0,017	0,425
Htp	-0,47	0,877		0,018	0,159	0,751	0,46	0,161	0,126	0,071	0,276
IT	0,595	-0,77	-0,98		0,224	0,79	0,53	0,212	0,213	0,148	0,287
E/m ²	-0,44	0,828	0,841	-0,78		0,812	0,094	0,481	0,301	0,215	0,050
n°G/E	0,507	0,381	0,249	-0,21	-0,19		0,454	0,272	0,429	0,54	0,522
PMG	0,425	-0,56	-0,54	0,47	-0,91	0,546		0,88	0,636	0,532	0,050
RDTp	0,008	0,868	0,839	-0,79	0,519	0,728	-0,12		0,041	0,067	0,745
RDTb	0,018	0,972	0,874	-0,79	0,699	0,571	-0,36	0,959		0,01	0,577
RDTg	-0,11	0,983	0,929	-0,85	0,785	0,46	-0,47	0,933	0,99		0,454
IR	-0,7	0,575	0,724	-0,71	0,929	-0,48	-0,92	0,255	0,423	0,546	

L'autre corrélation positive est celle liant le nombre d'épis par m² et l'indice de récolte ($r = 0.92^*$). Ainsi, le poids de mille grains est négativement et significativement lié à l'indice de récolte ($r = - 0.92^*$), ceci suggère que les traitements qui produisent un poids de mille grain élevé (grosses graines) n'arrive pas à avoir un indice de récolte élevé. L'autre corrélation négative intéressante est celle liant l'indice de tallage avec la hauteur de la plante ($r = - 0.98^{**}$), ceci indique que les traitements dont la végétation est haute, produisent moins de talles, sous l'effet de compensation.

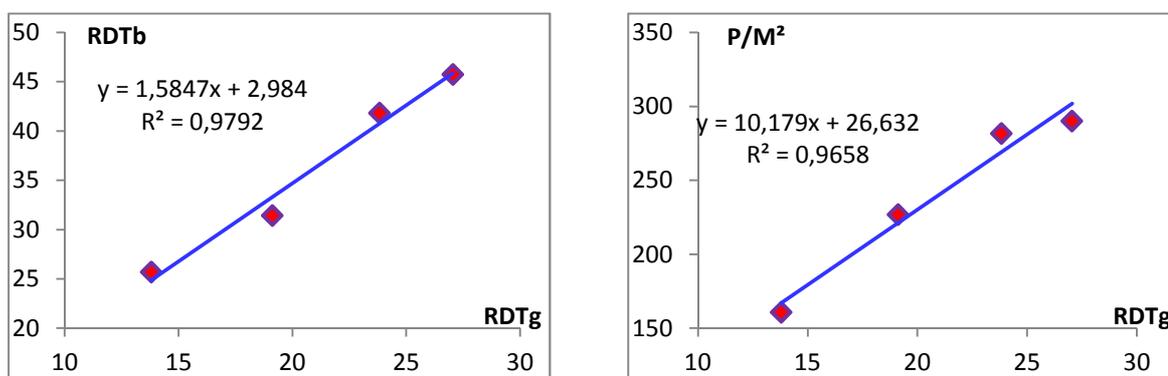


Figure 5.23 : Relation entre le rendement en grain et la biomasse aérienne d'une part et entre le rendement en grain et le nombre de plants levés par m² d'autre part.

5.6. Analyse en composantes principales

Une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée dans le but d'examiner le positionnement des facteurs étudiés et de vérifier l'emplacement des variables mesurées par rapport aux facteurs étudiés à savoir les systèmes de cultures utilisés (Semis direct et Travail conventionnel) et les précédents culturaux (blé, lentille) sur la surface plane du graphique. La Figure 5.24, qui a saisi les valeurs des facteurs révèle un emplacement diamétralement opposé des systèmes (SD, TC) ; Ceci indique la grande variation entre ces facteurs et leur niveau d'influence sur les caractères agronomiques. La lecture des valeurs rapportées par les deux axes qui renferment l'essentiel de l'information indique que l'axe 1, intègre l'information relative à la variation du rendement grain, le nombre d'épi/m², la hauteur de la végétation, la teneur en chlorophylle, le rendement biologique, le rendement paille, l'indice de récolte et le nombre de plants par mètre carré. Ces variables ont des scores positifs sur cet axe. Par contre, les variables qui sont également bien représentées sur ce même axe mais qui ont des coordonnées négatives sont d'une manière générale celles liées au poids de 1000 grains, et l'indice de tallage (Figure 5.24). L'axe 2, lui est lié aux caractères mesurés sur la culture de blé à savoir le nombre de grains par épi, la précocité à l'épiaison et la teneur relative en eau. Ces derniers affichent des coordonnées positives sur cet axe (Figure 5.24). Les deux premiers axes (1 et 2) ont les valeurs propres les plus élevées. Ils totalisent à eux seuls 86 % de la variabilité totale observée (Figure 5.24). Le premier axe absorbe à lui seul 58,76 % de la variabilité observée alors que le second axe explique 27,46%. Du point de vue agencement des variables mesurées par rapport aux facteurs étudiés (Figure 5.24), il ressort la formation de deux groupes. Le premier réunit le semis direct avec le nombre de grains par épi, la précocité à l'épiaison, la teneur relative en eau, le poids de mille grains et l'indice de tallage. Le second groupe représente le système conventionnel symbolise le reste des variables. Tout autour, du précédent cultural blé, on observe que les variables liées au poids de mille grains, l'indice de tallage et l'indice de récolte sont ceux qui caractérisent ce précédent cultural. Par contre les caractères restants sont attribués au précédent lentille et lui sont agencés (Figure 5.24).

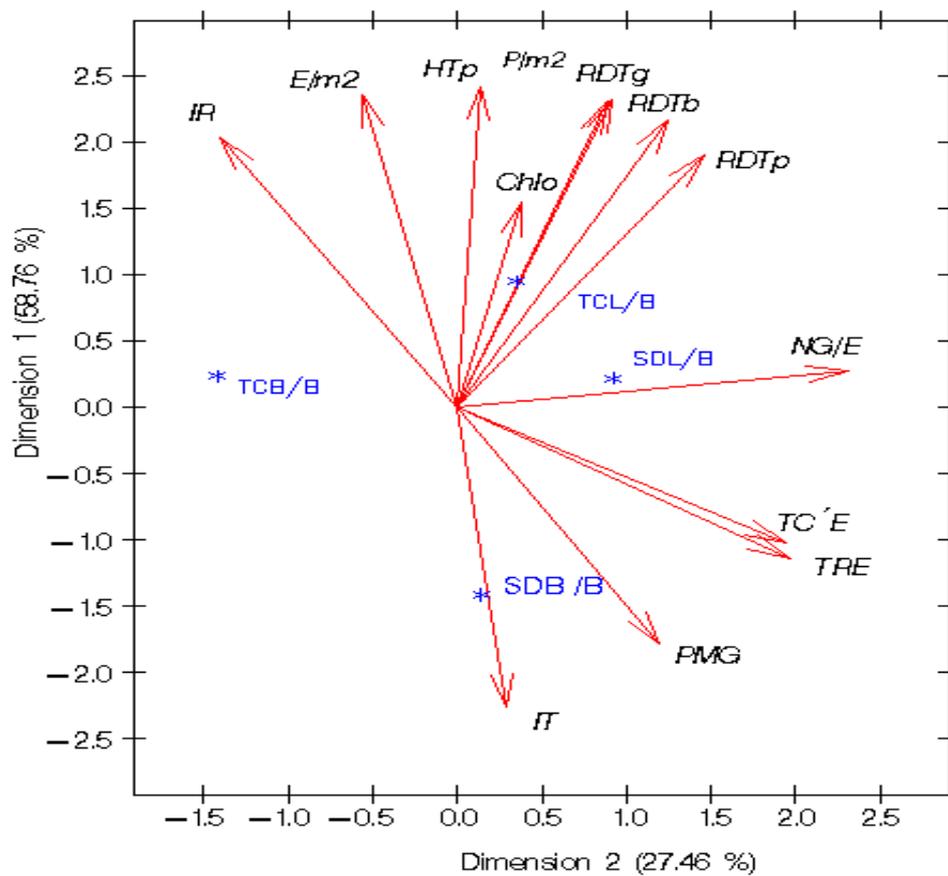


Figure 5.24 : Analyse en composantes principales de l'axe 1 et 2 des variables mesurées.

CHAPITRE 6

DISCUSSION GENERALE

6.1. Propriétés du sol

6.1.1. Evolution de l'humidité du sol

Les taux d'humidité mesurés sur les parcelles tout au long du cycle de la culture, sont issus des précipitations enregistrées lors du suivi, et traduisent la capacité de rétention de l'eau dans la couche arable du sol soit l'efficacité de la structure mise en place en matière de rétention d'eau.

Dans la présente étude, les résultats indiquent que le non labour affecte la répartition de l'humidité du sol disponible entre la part qui est transpirée par la culture et celle qui est directement évaporée notamment au début et à la fin de cycle. La part transpirée au stade de remplissage du grain est plus importante en non labour, probablement due à la présence des résidus, sachant que le cumul de pluie qui a été enregistré pendant ce mois est faible. Ceci conduit à une meilleure utilisation de l'eau pour produire du grain et de la biomasse chez la céréale conduite en non labour comparativement à celle conduite en labour conventionnel.

Les résultats de notre étude sont en accord avec ceux de PALA et *al.* [134], qui notent qu'il y a peu de différences dans l'évolution de l'humidité du sol de la culture mise en place sous labour conventionnel comparativement au non labour. Cependant, SADEGHI et BAHRANI [135] observent que le non labour stocke plus d'eau que le labour conventionnel. Cet effet est expliqué par la présence des résidus en couverture du sol en semis direct. Ces résidus ont pour effet de réduire la part de l'eau du sol évaporée. Ces auteurs observent un reliquat d'humidité plus important à la fin du cycle sous non labour comparativement au labour conventionnel. SMIKA [136] mentionne que le non labour produit 10% plus de grain et dispose de 9% de plus d'humidité du sol comparativement au système de labour conventionnel.

Nos résultats semblent aller en contre sens de ceux rapportés par FELLAHI et al [137], en ce qui concerne l'effet du non labour d'une seule année de mise en place. En effet ces auteurs rapportent que l'humidité du sol diminue plus rapidement en non labour, suggérant une plus grande utilisation de l'eau par la culture sous ce système. Cependant les résultats de cette étude corroborent ceux de CHENNAFI et al [138] pour ce qui est de l'effet des précédents sur l'utilisation de l'eau du sol. En effet ces auteurs mentionnent l'effet précédent, tout en suggérant que cela peut être dû à l'influence des systèmes racinaires des cultures sur la structure du sol.

L'évolution de l'humidité montre qu'au début du cycle, les horizons superficiels sont plus humides que les horizons profonds, suite à la plus grande fréquence des événements pluvieux au cours de l'hiver. La situation s'inverse à partir de l'abondance de précipitation, où les horizons profonds gardent une humidité supérieure à celle des horizons en surface. Ces différences suggèrent que les horizons de surface sont plus soumis à l'extraction de l'humidité par les racines et par évaporation que les horizons profonds. Ces résultats corroborent à ceux obtenus par HANNACHI et FELLAHI [133].

6.1.2. Densité apparente

Les résultats montrent une densité apparente plus importante en non labour, suggérant la compacité du sol. CARR et al [99] mentionnent que l'absence du labour conduit à l'augmentation de la densité apparente ce qui peut éventuellement affectée négativement la croissance racinaire de la culture et limite de la nutrition minérale et hydrique en situation de non labour.

Ces résultats corroborent avec ceux rapportés par BASIC et al [139], HANNACHI et FELLAHI [133], LOPEZ-FANDO et PARDO [140], ABDELAOUI et al [127], qui mentionnent que la densité du sol est plus élevée en non labour comparativement à ce qu'elle est sous conduite conventionnelle.

Selon STEPHEN et al [141], CHENNAFI et al [138], les différences de l'effet de mode de travail du sol sont influencées par la texture du sol, la teneur en matière organique et le matériel aratoire utilisé. BESCANS et al [142] rapportent que l'augmentation de la densité apparente en semis direct est

temporaire, car le compactage initial sera compensé plus tard par le développement des pores provenant de l'activité biologique du sol. WILHELM et *al.* [143] signalent une corrélation négative entre la teneur en matière organique et la densité apparente.

6.1.3. Vitesse d'infiltration de l'eau

Le labour conventionnel présente une meilleure perméabilité, comparativement au non labour. La présence d'une légumineuse comme précédent joue un rôle positif dans ce sens, et elle améliore la perméabilité du sol comparativement à celle d'une céréale.

L'eau s'infiltré dans le sol du labour conventionnel environ plus de deux fois vite que dans le sol non labouré. Ces résultats corroborent ceux rapportés par TOUAHRIA [144] qui mentionne que l'infiltration de l'eau dans le sol est plus faible en non labour comparativement à ce qu'elle est sous conduite conventionnelle.

ANGAR et *al.* [129] mentionnent qu'il y a une augmentation du taux d'infiltration dans le temps des parcelles conduites en non labour et une stabilité voir un arrêt au niveau des parcelles de conduites en labour conventionnel.

L'avantage du SD tel que trouvée dans la présente étude trouve son explication dans ce qui est rapporté dans la littérature. Ainsi FINDELING et *al.* [145] mentionnent que l'augmentation de la quantité de matières organiques dans les premiers centimètres d'un sol non travaillé faciliterait l'infiltration de l'eau. La présence d'un mulch en surface limite la remontée par capillarité de l'eau contenue en profondeur du sol [11].

6.1.4. Compaction du sol (résistance pénétrométrique)

Les mesures de la résistance pénétrométrique au moyen d'un pénétromètre sont l'un des indicateurs très souvent utilisés pour donner un aperçu sur l'état de compaction du sol et la contrainte qu'oppose le sol à la progression racinaire. Les résultats de la présente étude nous indiquent que le sol de semis direct est plus compacté que celle de travail conventionnel.

BELLEMOU [146], constate clairement l'effet du passage des différents outils aratoires sur la compaction du sol dont le meilleur résultat est obtenu dans les sols menés en semis direct par rapport à ceux travaillés avec la méthode conventionnelle.

6.1.5. Matière organique

La matière organique joue un rôle central dans le maintien des fonctions du sol ; elle est la source de nourriture de la plupart des organismes du sol, contribue à la stabilisation de la structure, au stockage de l'eau et des cations, à l'adsorption d'éléments chimiques et, lorsqu'elle se minéralise, fournit des éléments minéraux indispensables à la croissance des plantes. C'est donc un élément clé de la fertilité, de la qualité et de l'activité biologique des sols.

Sous conditions du non labour les résultats montrent une tendance nette au niveau de cinq premiers centimètres pour ce qui est la variation de la matière organique, notamment avec le précédent blé.

Dans cette technique le sol n'est pas perturbé, laissant les résidus des cultures en surface [147]. Ces résidus maintiennent voire augmentent le taux du carbone du sol, qui est un élément essentiel pour la durabilité du système [148]. De ce fait le non labour est vu comme une façon de faire l'agriculture. Il répond à une nouvelle vision dans laquelle la durabilité prend une importante place au même titre que le rendement de la culture lui-même.

Nos résultats diffèrent à ceux obtenue par BATOUCHE et LABIOD [149] ; qui révèlent que la teneur en matière organique des sols céréaliers des hautes plaines est faible, prenant des valeurs inférieures à 2%.

MRABET [147] mentionne que, sous conditions semi-arides marocaines, le semis direct avec des résidus en surface du sol améliorent la dynamique de la matière organique du sol dont la teneur passe de 1,4 à 2,1%.

6.2. Comportement de la culture

6.2.1. Caractères physiologiques

6.2.1.1. Teneur relative en eau de la feuille

La teneur relative en eau est le rapport entre la quantité d'eau dans les tissus foliaires au moment de l'échantillonnage à celle présente lorsque la feuille est entièrement turgide. C'est un indice reproductible et fiable de l'état hydrique de la plante [33, 43].

Nos résultats suggèrent que le système semis direct est moins soumis au stress hydrique comparativement au conventionnel. Ces résultats rejoignent les suggestions déduites à partir de l'évolution de l'humidité du sol qui indiquent que le SD présente un meilleur confort hydrique comparativement au traitement en TC.

D'après MRABET, [147] et ESCRIBANO [150], Les résidus gardent le sol plus humide pendant une période de temps plus longue. De son côté, KHALEDIAN *et al.* [151] a observé que la présence du paillis limite l'évaporation et maintient une teneur en eau supplémentaire dans le sol, et que cette teneur supplémentaire en eau est transmissible entièrement à la descendance, et il est positivement lié au rendement grain en présence de la contrainte hydrique.

6.2.1.2. Teneur en chlorophylle

La perte des pigments photosynthétiques a été utilisée comme critère pour évaluer la tolérance à la sécheresse des céréales. QUARTACCI et NAVARI-IZZO [152] rapportent que chez les céréales la Ch_a diminue significativement sous stress hydrique, alors qu'aucun changement significatif n'est noté pour la Ch_b.

D'après WARDLAW *et al.* [153], et BLUM [154], l'action de la température peut altérer l'activité de la photosynthèse. Ces altérations peuvent être accompagnées par des pertes en chlorophylle dues à la sénescence prématurée des feuilles [155].

6.2.1.3. Température cumulée à l'épiaison

COUVREUR [156], affirme que le poids de 1000 grains dépend de la phase de remplissage des grains et il est sous la dépendance des principales conditions d'alimentation hydrique et le cumul des températures de l'air; dans notre essai il s'agit : le travail conventionnel (TC) présente une précocité à l'épiaison contre le semis direct (SD), avec une moyenne de température cumulée varie de 869.95 °C pour le travail conventionnel à 938.10 °C pour le semis direct.

MRABET [126], montre que, 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 une période de temps plus longue, ceci a été confirmé par nos résultats.

6.2.2. Caractères agronomiques

6.2.2.1. Nombre de pieds levés par mètre carré

Le nombre de plants/m² le plus élevé est enregistré dans le système conventionnel avec une valeur de 258 plants/m² alors que la plus faible se situe dans le système semis direct avec 221 plants/m², soit une différence de 37 plants/m².

Pour les deux systèmes, ces valeurs restent très faibles, en effet, les résultats obtenus par TOUAHRIA [144] sont plus élevés avec environ 400 plants/m². Ceci est expliqué par les meilleures conditions climatiques de l'année 2010/2011.

6.2.2.2. Indice de tallage

Les valeurs obtenues dans cet essai sont légèrement inférieures à celles obtenues par TOUAHRIA [144] pour la même station expérimentale et avec la même variété. La seule explication concernant cette faible performance réside probablement dans un déficit hydrique momentané à un stade végétatif critique.

6.2.2.3. Hauteur des plants

D'après BAGGA et al. [157], indiquent que le fait d'une taille élevée du chaume est souvent associé à un système racinaire profond et donc une meilleure aptitude à extraire l'eau et les éléments nutritifs du sol. Alors que, MOULAI [158], note que la hauteur des plants dépend de la variété et de la fumure azotée.

Selon MONNEVEUX [159], les plants à tiges hautes résistent mieux à la sécheresse que les plants à tiges courtes grâce aux quantités d'assimilés au niveau des tiges principaux organes de réserve ; dans notre essai la hauteur moyenne des plants obtenue par le travail conventionnel est supérieure à celle obtenue par le semis direct.

BELLEMOU [146], La hauteur des tiges influe indirectement sur le rendement, c'est dans le fourrage qu'elle intervient.

6.2.2.4. Nombre d'épis par mètre carré

Le nombre d'épis par mètre carré dépend en premier lieu du facteur génétique puis la densité de semis, de la puissance de tallage, elle-même est conditionnée par la nutrition azotée et l'alimentation hydrique de la plante pendant la période de tallage [160].

Le travail conventionnel affiche un nombre d'épis très important par rapport à celle obtenu par le semis direct. Ainsi que le nombre d'épis le plus élevé est enregistrée pour les parcelles ayant comme précédent cultural, les chaumes d'une légumineuse même après le semis direct. Ceci est lié fortement à la qualité du sol sous un couvert végétal d'une légumineuse qui est un sol plus fertile et plus poreux.

COUVREUR [156], indique que le nombre d'épis par mètre carré est lié à l'état de la végétation, il s'agit : nombre de plants et l'état de tallage.

D'une manière générale, le nombre d'épi par unité de surface est important, il reflète aussi bien le potentiel de la variété que les conditions dans lesquelles se développe et s'exteriorise cette culture. Comme pour les autres paramètres, celui-ci fait ressortir des valeurs très faibles relativement au potentiel de la variété qui

possède un bon pouvoir de tallage et donc un bon peuplement épi. Ceci nous à amener à penser à la technique culturale utilisée ainsi qu'au traitement à l'herbicide dans le but d'éviter un faible peuplement épi par unité de surface par conséquent un faible rendement.

6.2.2.5. Nombre de grains par épis

Le semis direct présente une augmentation du nombre de grains par épi qui est compensée par une réduction des épis par m².

JONARD [161], a noté une variation du nombre de grains/épi qui est due aux conditions d'alimentation minérale notamment la fertilisation en potassium [142]. Le même auteur, a noté que les valeurs optimales du nombre de grains par épi permettant l'obtention de rendements plus élevés, en zone méditerranéenne et en absence de déficit hydrique, oscillent entre 38 et 51. Mais GATE et *al* [162], souligne qu'une carence en azote minéral au cours de la fécondation réduit le nombre de grains/épi en conséquence il y a augmentation du nombre de fleurs avortées.

Les principales conséquences de la sécheresse survenant durant la période fin montaison début épiaison, sont la réduction du nombre de grains par épi GATE et *al*. [162], et JOUVE [163]. Ainsi GRIGNAC [164] révèle que, le déficit hydrique s'oppose à l'élaboration du nombre de grains par épi car il affecte la fertilité de l'épi.

Par ailleurs, les dégâts causés par les moineaux durant le mois de mai sont partiellement responsables de ces résultats peu performants.

6.2.2.6. Poids de mille grains

GRIGNAC [164], affirme que le poids de 1000 grains diminue considérablement sous l'effet des fortes températures et d'un déficit hydrique au moment du remplissage du grain.

Le poids de mille grains pour cette variété concorde avec celui proposé par TOUAHRIA [144] en zone semi-aride des hauts plateaux sétifiennes et en conditions de culture intensive. D'après cet auteur, le poids optimal de 1000 grains

qui permet l'obtention des rendements les plus élevés doit être supérieure à 48g, il s'agit, dans notre essai, de : 33.43g pour le semis direct et de 31.74g pour le semis conventionnel. Ce paramètre dépend aussi de la continuité de la nutrition azotée jusqu'à la maturation [165]. COUVREUR [156], affirme qu'une forte évapotranspiration potentielle ou des températures élevées pendant le mois précédent l'épiaison induisent la formation de petits grains.

6.2.3. Rendements

Au regard des résultats, il apparaît que les deux techniques culturales ainsi que les précédents ont un effet sur le rendement en raison probablement de modifications de la structure du sol, celle ayant un impact direct sur les réserves en eau, les propriétés mécaniques (développement du système racinaire), ainsi que sur l'alimentation minérale de la culture.

6.2.3.1. Rendement en grain

BOUZERZOUR [166], rapporte que dans des milieux variables il faut assurer une production de biomasse aérienne suffisante pour garantir un rendement en grain acceptable.

DE VITA *et al.* [167], ont obtenu un rendement élevé et la meilleure efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) en semis direct. Les résultats vont à l'encontre de ce qui est rapporté par HAMMEL [168] qui obtient des rendements faibles en semis direct en comparaison avec le système conventionnel.

Dans la présente étude, les résultats sont plus proches pour les deux techniques avec un léger retard pour le semis direct.

Une explication partielle relative aux rendements moins élevés dans le semis direct réside dans la forte présence de mauvaises herbes. Ces mauvaises herbes ont exercé une forte concurrence sur les plans de l'alimentation hydrique et minérale vis-à-vis de la culture. Malgré ses limites, il est cependant indéniable que le labour améliore beaucoup plus les propriétés physiques des sols notamment ceux dont la structure est fragile (excès de limon et faibles teneurs en matière organique).

6.2.3.2. Rendement en biomasse aérienne

La biomasse aérienne produite varie en fonction du mode de semis et du précédent cultural. Elle est plus importante sous le précédent lentille que le précédent blé.

Selon MOSSEDDAQ et MOUGHLI [169], les quantités d'azotes apportés par l'introduction d'une espèce fixatrice d'azote dans une rotation affectent très fortement la production de biomasse de la culture qui suit.

6.2.3.3. Rendement en paille

L'élevage est une composante incontournable des activités de l'exploitation, notamment celles des zones arides et semi-arides où il constitue une importante source d'autofinancement [170]. Dans la présente étude peu de différences apparaissent entre les deux systèmes et entre les différents types de précédents pour ce caractère. Ces résultats suggèrent que les traitements qui produisent plus de paille produisent également plus de grains.

6.2.3.4. Indice de récolte

AURIAU [171], affirme qu'une meilleure adaptation des céréales aux zones arides apparaît liée à un rapport grain sur biomasse élevé.

6.3. Densité des mauvaises herbes

La gestion des adventices est l'une des contraintes du développement de la technique du semis direct. En effet, la simplification du travail du sol favorise l'évolution du parasitisme, en raison, d'une part, à la présence des résidus laissés en surface et d'autre part à la non perturbation du milieu caractéristique du semis direct [172].

Les mauvaises herbes peuvent diminuer notablement le rendement des blés de 50 à 60% [173]. Cet auteur a été démontré aussi que les premières années de la suppression du labour, la culture est sujette à une forte infestation en mauvaises herbes. Toutefois, le niveau d'infestation a diminué de 68% en 5ème année de conduite culturale en semis direct.

Utiliser les désherbants chimiques comme seule stratégie de lutte contre les adventices, peut devenir à long terme un problème, suite à l'augmentation des prix et au développement de la bio-résistance, en plus de leur impact sur l'environnement notamment la pollution des eaux de surface et de nappes [174].

La rotation des cultures est un moyen de lutte efficace contre les adventices. La diversification des espèces cultivées tend vers le développement d'un agrosystème aux multiples avantages. Ceci permet d'éviter la monoculture des céréales et d'avoir accès à une plus grande variété de moyens de lutte (mécaniques et chimiques) et ainsi éviter la dominance d'espèces vivaces et le développement de la bio-résistance qui est générée par la sur-utilisation d'un seul herbicide sur une longue durée [174].

Le respect de la rotation culturale accompagné d'un meilleur contrôle chimique des adventices a défavorisé l'accroissement de l'infestation des mauvaises herbes, donc en conditions de non labour, la rotation culturale et le traitement phytosanitaire sont donc inévitables.

Conclusion

Les résultats de la présente étude indiquent que le non labour est une alternative louable pour intensifier la production du blé dur sous les conditions semi-arides des hautes plaines sétifiennes.

Le non travail du sol (semis direct) agricole a un effet significatif sur le taux de la matière organique dans la couche superficielle (0-5 cm). Le suivi de l'humidité du sol montre des différences significatives entre le TC et le SD, tout le long du cycle de la culture. La technique conventionnelle garde une humidité relativement plus élevée au début du cycle que celle notée pour le SD par contre à la fin du cycle. L'évolution de l'humidité montre qu'en début du cycle, les horizons superficiels sont plus humides que les horizons profonds. La situation s'inverse en fin du cycle (122 JAS), où les horizons en profondeur gardent une humidité supérieure à celle des horizons en surface. A ce sujet, il ressort que le semis direct (SD) présente un taux d'humidité supérieur au conventionnel (TC).

Les résultats indiquent aussi que la densité apparente et la résistance pénétrométrique sont significativement plus élevées en semis direct comparativement au semis conventionnel.

Le semis direct présente un nombre de grains par épis et un poids de 1000 grains plus élevé comparativement au travail conventionnel, qui garde l'avantage de nombre des épis/m², et présente une meilleure hauteur des plantes ainsi que une précocité d'épiaison par rapport au SD.

Les résultats de la présente étude indiquent que le précédent lentille valorise le potentiel d'expression du rendement grains chez Bousselam qui réalise 25.43 q ha⁻¹, avec un écart de 8.97 q ha⁻¹, un rendement biologique de 43.79 q ha⁻¹ avec un écart de 15.23 q ha⁻¹ et un rendement en paille de 20.17 q ha⁻¹, avec un écart de 8.08 q ha⁻¹ relativement aux parcelles à précédent blé.

Le précédent lentille montre un avantage marqué dans l'accumulation de la biomasse aérienne contre le précédent blé. Les résultats laissent apparaître que le précédent cultural lentille influe positivement sur les propriétés physiques du sol ainsi que sur la diminution du taux d'infestation en mauvaises herbes.

Ces résultats préliminaires suggèrent que la technique du semis direct présente l'avantage d'une mise en place rapide de la culture, sans la préparation onéreuse du lit de semis. Cette technique est intéressante dans les régions arides et semi arides, où la préparation du lit de semis est plutôt difficile en l'absence de pluie précoce. Elle est la cause principale des semis tardifs. Elle apporte l'avantage du gain de temps et de la réduction des couts de production, comme elle apporte aussi l'avantage de l'augmentation du rendement. Elle mérite d'être mieux étudiée pour son adoption à large échelle en remplacement de la technique conventionnelle qui se montre peu respectueuse de l'environnement et de la durabilité du système de production.

APPENDICES

Tableau 01 : Résultats de l'analyse du sol.

Paramètres analysés	Traitements	
	Semis direct	Travail conventionnel
Argile %	32	36
Limon %	40	28
Sable %	32	40
Ca en méq/100g	16.03	36.35
Mg en méq/100g	1.36	2.27
Na en méq/100g	0.57	0.31
K ppm	327.8	166.8
N %	0.14	0.13
pH	7.63	7.68
Conductivité $\mu\text{s/cmre}$	104	100

Tableau 2. Récapitulatif de description des profils culturaux effectués.

Critères de description	Semis direct	Travail conventionnel
Profondeur des horizons		
H1	0-18 cm	0-15 cm
H2	18-30 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)
Régularité	régulière horizontale	ondulé(H1) régulière(H2)
Humidité naturelle	peu sec(H1), frais(H2)	sec(H1), frais(H2)
Couleur humide	(hue:5YR, value:3, chroma:4)	(hue : 2.5YR, value : 4, chroma : 3)
Couleur sec	(hue:5YR, value:4, chroma:4)	(hue : 2.5YR, value : 5, chroma : 6)
Taches	2 à15% H1	quelques taches
Abondance	15 à 30cm H2 (Hue:5YR, value:8, chroma:2)	Taches 2 à15% (Hue : 2.5YR, value : 4, chroma : 4 (H1) 6 (H2))

forme	Arrondie à allongée	Arrondie à allongée
distribution	Homogène	Homogène
Matière organique	non directement détectable	non directement détectable
Éléments calcimagnésiques		
effervescence	vive effervescence	vive effervescence
répartition	généralisée	généralisée
nature	éléments carbonates	éléments carbonatés
forme	nodules friables	nodules friables
Éléments grossiers		
gravier	peu abondant 2 à 15 %	peu abondant 15 à 30 %
cailloux	très peu de graviers < 2%	très peu de graviers < 2%
blocs	très peu de graviers < 2%	très peu de graviers < 2%
formes dominantes	irrégulière, arrondie, allongée	irrégulière, arrondie
arêtes	anguleux	anguleux
altération	altérés	altérés
Texture	limoneux-argileux	limoneux argileux
Structure	fragmentaire	fragmentaire

forme et taille des fragments	arrondie à anguleux, 2mm à 2 cm	arrondie à anguleux, 2mm à 2cm)
surface des agrégats	irrégulière	irrégulière
force de glissement et de pression	moyenne	faible
Activité biologique		
racines		
abondance et grosseur	nombreux racines, fine (H1) à très fine (H2)	très nombreux racines très abondante, fine (H1) à très fine (H2)
animaux	galeries, débris de coquilles, vers de terre	galeries, débris de coquilles, cavités
Action biologique globale		
Porosité	moyenne	forte
Propriétés mécaniques	importante	importante
adhésivité	collant à très collant	collant à très collant
plasticité	plastique	plastique
friabilité	friable	très friable
fragilité	peu fragile	fragile
cohésion	compact	meuble, peu compact

H1 : Horizon 1. H2 : Horizon 2.

Tableau 03 : Analyse de la variance de la densité apparente du sol.

source	SCE	DDL	CM	F	P	CV
système	0,0252	1	0,0252	7,86	0,02	
précédent	0,0002	1	0,0002	0,06	0,80	
interaction	0,0200	1	0,02	6,24	0,03	4,04
résiduelle	0,0256	8	0,003			
totale	0,0710	11				

Tableau 04: Analyse de la variance de la vitesse d'infiltration de l'eau.

source	SCE	DDL	CM	F	P	CV
système	224,85	1	224,85	76,81	0,0001	
précédent	0,53	1	0,53	0,18	0,6801	
interaction	1,25	1	1,25	0,43	0,5306	9,26
résiduelle	23,41	8	2,92			
totale	250,069	11				

Tableau 05: Analyse de la variance de la résistance pénétrométrique.

source	SCE	DDL	CM	F	P	CV
système	78,33	1	78,33	50,42	0,0001	
précédent	2,98	1	2,98	1,92	0,2035	
interaction	2,00	1	2,00	1,29	0,2893	12,51
résiduelle	12,43	8	1,55			
totale	95,74	11				

Tableau 06: Analyse de la variance de la MO de l'horizon 01.

source	SCE	DDL	CM	F	P	CV
système	0,62	1	0,62	6,13	0,03	
précédent	0,13	1	0,13	1,33	0,28	
interaction	0,08	1	0,08	0,87	0,37	11,93
résiduelle	0,81	8	0,10			
totale	1,65	11				

Tableau 07: Analyse de la variance de la MO de l'horizon 02.

source	SCE	DDL	CM	F	P	CV
système	0,012	1	0,012	0,12	0,73	
précédent	0,004	1	0,004	0,05	0,82	
interaction	0,112	1	0,112	1,16	0,31	15,03
résiduelle	0,773	8	0,096			
totale	0,902	11				

Tableau 08: Analyse de la variance de la MO de l'horizon 03.

source	SCE	DDL	CM	F	P	CV
système	0,0001	1	0,0001	0,00	0,94	
précédent	0,0003	1	0,0003	0,01	0,92	
interaction	0,0432	1	0,0432	1,55	0,24	9,10
résiduelle	0,2232	8	0,0279			
totale	0,2669	11				

Tableau 09: Analyse de la variance de la teneur relative en eau.

source	SCE	DDL	CM	F	P	CV
système	34,91	1	34,91	7,92	0,02	
précédent	3,05	1	3,05	0,69	0,42	
interaction	0,05	1	0,05	0,01	0,91	2,68
résiduelle	35,25	8	4,40			
totale	73,28	11				

Tableau 10: Analyse de la variance de la teneur en chlorophylle.

source	SCE	DDL	CM	F	P	CV
système	0,138	1	0,138	0,01	0,91	
précédent	44,969	1	44,969	3,98	0,08	
interaction	99,936	1	99,936	8,84	0,01	7,47
résiduelle	90,398	8	90,398			
totale	235,44	11				

Tableau 11: Analyse de la variance de la température cumulée à la levée.

source	SCE	DDL	CM	F	P	CV
système	14,08	1	14,08	4,00	0,08	
précédent	3,20	1	3,20	0,91	0,36	
interaction	12,81	1	12,81	0,09	0,09	1,79
résiduelle	28,14	8	3,51			
totale	58,24	11				

Tableau 12 : Analyse de la variance du nombre de plants levés par m².

source	SCE	DDL	CM	F	P	CV
système	25478,66	1	25478,66	4,12	0,076	
précédent	4163,38	1	4163,38	25,21	0,001	
interaction	2481,44	1	2481,44	2,45	0,155	13,25
résiduelle	8086,54	8	1010,81			
totale	40210,03	11				

Tableau 13 : Analyse de la variance de l'indice de tallage.

source	SCE	DDL	CM	F	P	CV
système	0,0052	1	0,0052	0,76	0,40	
précédent	0,00187	1	0,00187	0,27	0,61	
interaction	0,00007	1	0,00007	0,01	0,91	7,32
résiduelle	0,05506	8	0,0068			
totale	0,0622	11				

Tableau 14: Analyse de la variance de la hauteur des plantes.

source	SCE	DDL	CM	F	P	CV
système	115,94	1	115,94	25,23	0,001	
précédent	103,84	1	103,84	22,60	0,001	
interaction	0,04	1	0,04	0,01	0,927	3,56
résiduelle	36,76	8	4,59			
totale	256,58	11				

Tableau 15: Analyse de la variance de nombre des épis par mètre carré.

source	SCE	DDL	CM	F	P	CV
système	16647,02	1	16647,02	14,79	0,004	
précédent	8095,88	1	8095,88	7,19	0,027	
interaction	10042,76	1	10042,76	8,92	0,017	13,26
résiduelle	9007,46	8	1125,93			
totale	43793,13	11				

Tableau 16: Analyse de la variance du nombre de grains par épis.

source	SCE	DDL	CM	F	P	CV
système	10,17	1	10,17	0,14	0,72	
précédent	45,15	1	45,15	0,61	0,45	
interaction	25,85	1	25,85	0,35	0,57	32,99
résiduelle	595,72	8	74,46			
totale	676,91	11				

Tableau 17: Analyse de la variance du poids de mille grains.

source	SCE	DDL	CM	F	P	CV
système	8,55	1	8,55	6,27	0,03	
précédent	0,54	1	0,54	0,40	0,54	
interaction	15,67	1	15,67	11,49	0,009	3,58
résiduelle	10,91	8	1,36			
totale	35,69	11				

Tableau 18 : Analyse de la variance de rendement grains.

source	SCE	DDL	CM	F	P	CV
système	54,73	1	54,73	2,02	0,19	
précédent	241,41	1	241,41	8,92	0,01	
interaction	3,30	1	3,30	0,12	0,73	24,83
résiduelle	216,52	8	27,06			
totale	515,96	11				

Tableau 19 : Analyse de la variance de rendement en biomasse aérienne.

source	SCE	DDL	CM	F	P	CV
système	70,12	1	70,12	1,03	0,33	
précédent	695,68	1	695,68	10,23	0,01	
interaction	2,45	1	2,45	0,04	0,85	22,79
résiduelle	544,19	8	68,02			
totale	1312,45	11				

Tableau 20 : Analyse de la variance de rendement en paille.

source	SCE	DDL	CM	F	P	CV
système	16,92	1	16,92	0,16	0,70	
précédent	195,61	1	195,61	1,80	0,21	
interaction	11,50	1	11,50	0,11	0,75	64,54
résiduelle	867,69	8	867,69			
totale	1091,73	11				

Tableau 21 : Analyse de la variance de l'indice de récolte.

source	SCE	DDL	CM	F	P	CV
système	0,0067	1	0,0067	9,77	0,01	
précédent	0,0001	1	0,0001	0,28	0,61	
interaction	0,0023	1	0,0023	3,43	0,10	4,58
résiduelle	0,0055	8	0,0006			
totale	0,0149	11				

Tableau 22 : Analyse de la variance de la densité des adventices.

source	SCE	DDL	CM	F	P	CV
système	901,33	1	901,33	80,72	0,0001	
précédent	243,00	1	243,00	21,76	0,0016	
interaction	33,33	1	33,33	2,99	0,1223	12,61
résiduelle	89,33	8	11,16			
totale	1267	11				

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Mrabet, R., «Stratification of soil aggregation and organic matter under conservation tillage systems in Africa », *Soil and Tillage Res*, n°66, (2002),119-128.
2. Lyons, D.J., Hammer, G.L., Mclean, G.B. et Blumenthal, J.M., «Simulation supplements field studies to determine no-till dryland corn population recommendations for semiarid western Nebraska », *Agron. J*, n°95, (2003), 884–891.
3. Halvorson, A.D., Black, A.L., Krupinsky J.M., Merrill S.D., Wienhold B.J. et Tanaka, D.L., «Spring Wheat Response to Tillage System and Nitrogen Fertilization within a Crop–Fallow System », *Agron. J*, n° 92 (2000), 288–294.
4. Kheyar, M.O., Amara, M. et Harrad, F., «La mécanisation de la céréaliculture algérienne ». Dans : *Annales de l'INA*, n° 28, (2007), 95-112.
5. Chehat, F., Djenane, A. et Jouve, M.A., « Les stratégies de mises en marché des céréales par les agriculteurs dans la région de Sétif », *Rapport SEFCA, TIII*, (1993), 25p.
6. Bouzerzour, H., Mahnane, S. et Makhlouf, M., « Une association pour une agriculture de conservation sur les hautes plaines orientales semi-arides d'Algérie », *Actes des troisièmes rencontres méditerranéennes du semis direct, Options méditerranéennes, Série A*, n°69, (2006), 107-111.
7. Zaghouane, O., Abdellaoui, Z., et Houassine, D., « Quelles perspectives pour l'agriculture de conservation dans les zones céréalières en conditions algériennes », *Options Méditerranéennes, Série A*, n°69, (2006), 183-187.

8. El gharras, o., El brahli, A., El Aissaoui 1, A., et El Hantaoui, N., « Le semis direct pour une agriculture pluviale de conservation », Symposium international : Agriculture durable en région Méditerranéenne (AGDUMED), Rabat, Maroc, (14-16 mai 2009), 249-256.
9. Mrabet,R.,« Climate change and carbon sequestration in the Mediterranean basin: Contributions of no-tillage systems, Actes des quatrièmes rencontres méditerranéennes du semis direct . Recherche agronomiques, N°spécial, INRAA, (2010).
10. Thomas, F., Archambeaud, M., Billerot, S., et Carville, C., « Techniques de conservation des sols », Madison, France, (2009), 106p.
11. Mrabet, R., « Le Système de Semis Direct: Pour Une Agriculture Marocaine Durable et Respectueuse de l'Environnement », Actes de la conférence de l'Association Marocaine des Agro-Economistes AMAECO : Les aléas climatiques et politiques agricoles, Rabat, (24-25 Mai 2001).
12. Colbach, N., Maurin, N. et Huet, P., «Influence of cropping system on foot rot of winter wheat in France», Crop Prot, n°15, (1 996), 295-305.
13. Chauvel, B., Guillemin, J.P., Colbach, N. et Gasquez, J., «Evaluation of cropping systems for management of herbicide-resistant populations of blackgrass: *Alopecurus myosuroides* Huds», Crop Prot, n°20, (2001),127-137.
14. Mac Key, J., « Wheat domestication as shoot: root interrelation process», Proceedings of Fifth International Wheat Genetics Symposium, Ed, S.Ramanujam, New Delhi, India, (1978),875-890.
15. Huang, J., Rozelle, S., Pray, C. et Wang, Q., «Plant Biotechnology in China», Sci, n°25, (2002),674 - 676.
16. Levy, A.A. et Feldman, M., «The Impact of Polyploidy on Grass Genome Evolution», Plant Physiol, n°130,(2002),1587-1593.

17. FAO, (2011). www.fao.org.
18. CIC, «International Grains Council. World Grains Statistics»,(2011), 13-17
19. Statistique agricoles, superficies et production.Série B. Fév. 2010. DSASI. MADR. Alger , 64p.
20. FAO, (2007). www.fao.org.
21. FAO, (2005). www.fao.org.
22. Hervieu, B., Capone, R. et Abis, S., « Mutations et défis pour l'agriculture au Maghreb », Notes d'analyse du CIHEAM, n°16, (2006),1-21.
23. Statistiques agricoles, bilan des productions agricoles. Série B, volet n° 01.. DSA, 2010.
24. Lahmar, R. et Bouzerzour, H., « Du mulch terreux au mulch organique. Revisiter le dry-farming pour assurer une transition vers l'agriculture durable dans les hautes plaines sétifiennes ». Les actes des 4e Rencontres Méditerranéennes du Semis Direct,Sétif, Algérie (3,4 et 5 mai 2010), n°spécial.Revue, Recherche agronomique, 48- 58.
25. Batouche S. et Labiod, H., « Les sols des hautes plaines Sétifiennes : Inventaire, analyse et synthèse des études pédologiques réalisées dans cette régions de 1965 à 1985 : essais de thematisation », Mémoire ingénieur, UFA Sétif, (1991),133 p.
26. Hakimi, M., « L'evolution de la culture de l'orge : le calendrier climatique traditionnel et les données agro météorologiques modernes », In the agrométéorology of rainfed barley-based farming systems. Proceeding of an International symposium. Ed. Jones M., Marthys G., Rijks D, (1993),157-166.
27. Benniou, R. et Brinis, L., « Diversité des exploitations agricoles en régions semi-aride Algériennes »,Sécheresse n°17 ,(2006),399-406.

28. Abbas, K. et Abdelguerfi, A., « Perspectives d'avenir de la jachère pâturée dans les zones céréalière semi-arides », Fourrages n°184, (2005),533-546.
29. Djenane, A., « Quelques résultats du programme de vulgarisation de l'intensification céréalière dans la région des hautes Plaines Sétifiennes », Cahiers Options Méditerranéennes, V. 2, n°1, (1993) , 99-112.
30. Lopez-Bellido L., Lopez-Bellilo R.J., Gasstillo J.E. et Lopez-Billilo F.J., «Effects of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on wheat under rainfed mediterranean conditions», Agron. J,n°92, (2000),1054-1063.
31. Sebillotte, M. Allain, S., Dorè, T. et Meynard, J. M., « La jachère et ses fonctions agronomiques, économiques et environnementales, diagnostic actuel », Courrier de l'environnement de l'INRA n°27, (1992),125-137.
32. Eliard, J.L., « Manuel d'agriculture générale », Ed, J.B. Baillière. Paris, (1979), 344 p.
33. Baldy, C., « Contribution à l'étude fréquentielle des conditions climatiques: leur influence sur la production des principales zones céréalières d'Algérie », MARA, projet céréales, Alger, (1974),152 p.
34. Blum,A. et Pnuel, Y., « Physiological attributes associated with drought resistance of wheat cultivars in a Mediterranean environment », Aust.J,Agric,Res, n°41, (1990),799-810.
35. Musick, J.T., Jones, O.R., Stewart, B.A. et Dusek, D.A., «Water yield relationships for irrigated and dry land wheat in the US Southern Plains», Agronomy Journal, n°86, (1994), 980-986.
36. Adda, A., « Contribution à l'étude des caractéristiques morphologiques, physiologiques et anatomiques de la productivité chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans une zone semi-aride », Thèse Magister en Sciences agronomiques, INA,El Harrach,(1996),114p.

37. Mekliche, A., Larbi, A., Abed, R. et Badis M. « Effet du déficit hydrique sur la production de deux variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var. durum) en région semi-aride ». CIHEAM-Options méditerranéennes, (2000), 295-297.
38. Bernard, A., « Le dry-farming et ses applications dans l'Afrique du Nord », Annales de Géographie, V. 20, n°114, (1911), 411-430.
39. Oudina M., Céréaliculture. Le choix variétal. Revue., n° 4, ITGC, (1989),10-19.
40. Belaid, D., « Aspects de la céréaliculture algérienne ». OPU Alger, (1986),207p.
41. Soltner, D. « Les grandes productions végétales : céréales, plantes sarclées, prairies », Sainte-Gemme-sur-Loire, Sciences et Techniques Agricoles, (1998).
42. Mekhlouf, A., Bouzerzour, H., Benmhammed, A., Hadj sahraoui, A. et Harkati, N., « Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum*, Desf.) au climat semi- aride », Sécheresse, n°17,(2006), 507-513.
43. Soltner, D., «Les Techniques Culturelles Simplifiées, Pourquoi ? Guide d'agriculture intégrée », Sciences et techniques agricoles, (1990).
44. Bouaziz, A., «Perspectives agronomiques de la céréaliculture au Maroc », Département d'agronomie, Institut Agronomique et vétérinaire Hassan II,Rabat,CIHEAM,Options Méditerranéennes, Série études ,(1984), 29-40.
45. Latiri, K., «Conditions climatiques, production et fertilisation azotée », Institut National de Recherche en Génie rurale, Eaux et Forêts, Tunisie, CIHEAM,Options Méditerranéennes, Série A, (2000), 591-593.
46. Rachedi, M.F., «Céréaliculture. Les céréales en Algérie », Revue, n° 38, ITGC, (2003), 4-25

47. Kelkouli, M., « Influence de différentes techniques culturales utilisées en grandes cultures sur la rétention de l'eau en conditions semi – aride, cas du blé », Thèse Magister en sciences agronomiques, INA, El Harrach, (2008),147 p.
48. MADR, 2007. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. Annuaire statistiques, Série B.
49. Zeghida A. (1994). « Identification des blés cultivées en Algérie par les marqueurs biochimiques et génétiques, 2ème journée scientifiques sur le blé », ISN- Université de Constantine, 24-26 oct.94.
50. Mrabet R., Saber N., El-Brahli S., Lahlou S. et Bessam F., Total organic matter and structural stability of a calcixeroll soil under different wheat rotations and tillage system in semiarid area of Morocco. Dans : Soil and tillage research, 57, (2001), 225-235.
51. Morsli B., Mazour M., Mededjel N. et Roose E., « Influence de l'utilisation des terres sur les risques de ruissellement et de l'érosion sur les versants semi-arides du nord-ouest de l'Algérie », Sécheresse, V.15, n°1,(2004), 96-104.
52. Nicou, R., Charreau, C. et CHOPART, J.L., « Tillage and soil physical properties in semi – arid West Africa », Soil and Tillage Research n°27, (1993), 125-147.
53. Michiel, C., et Klaij, M., « Chapitre 2- Objectif du travail du sol. Archives des documents de la FAO, le travail du sol pour une agriculture durable ». Cours de formation, (4 -13 Juillet 1994) Niamey, Niger, (1997),4p.
54. M'hedbi, k., « Effets des outils de travail du sol et de semis direct sur le rendement des céréales cultivées en sec. Actes de la 27 e journée nationale sur les acquis de la recherche agronomique, halieutiques et vétérinaire en Tunisie »,V.1 ,Grandes cultures, (1995),36-45.

55. Trochard, R., Lajoux, P., Barthelemy, P., Boisgontier, D., Gillet, J.P et Costes, J.L., «Travail du sol ; réussir l'implantation, I.T.C.F. Perspectives agricoles », France, n°194, (1994).
56. Don Lobb., « Semis direct : les secrets de la réussite dans les pratiques de gestion optimales », (2003),1-6.
57. Bouzza, A., «Water conservation in wheat rotations under several management and tillage systems in semi-arid areas», Ph.D. Dissertation, University of Nebraska, Lincoln, NE, USA, (1990),123 p.
58. PNTTA , « Le semis- direct une technologie avancée pour une agriculture durable au Maroc », bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA, MADREF/DERD n °76. (2001),4 p.
59. Aibar, J. « La lutte contre les mauvaises herbes pour les céréales en semis direct : Principaux problèmes », Options Méditerranéennes, Série A, n°69, (2006), 19-26.
60. Derksen, D.A., Lafond, G.P., Thomas, A.G., Loeppky, H.A. et Swanton, C.J., «Input of agronomic practices on weed communities: tillage systems», Weed Sci, n°41, (1993), 409–417.
61. Vullioud, P., et Mercier, E., « Résultats de 34 ans de culture sans labour à Changins. I. Evolution des rendements = Results of a 34-year ploughless tillage experiment at Changins»,(1970-2003). Revue Suisse d'agriculture, V. 36, n°5, (2004), 201-212.
62. Camara, K.M., Payne, W.A. et Rasmussen, P.E., « Long-term effects of tillage, nitrogen, and rainfall on winter wheat yields in the Pacific Northwest », Agron. J, n°95 (2003), 828–835.
63. Lyons, D.J., Boa, F. et Arkebauer, T.J., « Water-yield relations of several spring planted dryland crops following winter wheat», J. Production Agric, n°8, (1995), 281–286.

64. Biederbeck, V.O., Campbell, C.A., Rasiah, V., Zentner, R.P. et Wen, G., «Soil quality attributes as influenced by annual legumes used as green manure», *Soil Biol, Biochem*, n°30, (1998),1177–1185.
65. Eser, D., Adak, M.S., Akbay, G., Biesantz, A., Atalay, A. et Limberg, P., « Investigation of wheat yield, root growth in previous crops and wheat in two-year rotation system under Ankara conditions Turkish», *J. Agric and Forestry*, n°21, (1997),445–450.
66. Avci, M., Meyveci, K., Eyüboğlu, H., Avcin, A. et Karaca, M., «Effects of long term rotations on crop yields and soil properties», Ed, Ekiz, H., *Symposium on the Problems and Solutions of Cereal Production in Central Anatolia*, Gürcan Ofset Basımevi, (1999.), 178–188.
67. Pierce, F.J. et Rice, C.W., «Crop rotation and its impact on efficiency of water and nitrogen use»,Ed, Hargrove, W.L., et *al*, *Cropping Strategies for Efficient Use of Water and Nitrogen*. SSSA ASA, and SSSA, Madison, WI, USA,(1988), 21–42.
68. Bourarach, E.H., et Mrabet, R., « Le semis- direct une technologie avancée pour une agriculture durable au Maroc », *Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA : transfert de technologie en agriculture*, n°76, (2001), 4p.
69. Manichon, H., et Estrade, J.R., « Caractérisation de l'état structural et étude de son évolution à court et moyen terme sous l'action des systèmes de culture », *les systèmes de culture*, Ed, L. Combe, D. picard , INRA, Paris, (1990), 27-55.
70. Henin, S., Gras, R. et Monnier, G., « Le profil cultural: l'état physique du sol et ces conséquences agronomiques »,Masson et Cie, Paris,(1969), 332 p.
71. Duchaufour, Ph., « Précis de pédologie », 2 ème édition, Masson, Paris (1965), 481p.

72. Le Bissonnais, Y., « Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility », Theory and methodology, Eur. J. Soil. Sci, V.47, (1996), 425-437.
73. Lynch, J.M. et Bragg, E., « Microorganisms and soil aggregate stability », Advances in Soil Science, V.2, (1985), 133 – 171.
74. Angers, D.A., et Caron, J., « Plant-induced changes in soil structure: processes and feedbacks », Biogeochemistry, n°2, (1998), 55-72.
75. Jastrow, J.D., et Miller, R.M., « Soil Aggregate stabilisation and carbon sequestration: conservation and réhabilitation », Ed M. Agassi, Ch.3, (1997), 41- 60.
76. Abiven, S., « Relations entre caractéristiques des matières organiques apportées, dynamique de leur décomposition et évolution de la stabilité structurale du sol », Thèse de doctorat de l'ENSAR, (2004), 228P.
77. LE Bissonnais, Y., Cros-Cayot, S. et Gascuel-Oudou, C., « Topographic dependence of aggregate stability, overland flow and sediment transport », Agronomie, V. 22, (2002), 489-501.
78. Le Bissonnais, Y., et Le Souder, C., « Mesure de la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité à la battance et à l'érosion : études et gestion des sols », V.2, (1995), 43p.
79. Le Bissonnais, Y. Et Arrouays, D., « Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility », II. Application to humic loamy soils with various organic carbon contents. Eur. J. Soil. Sci, 48, (1997), 39-48.
80. Chenu, C., Le Bissonnais, Y. et Arrouays, D., « Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability », Soil Sci, Soc. Am. J, V.64, (2000), 1479-1486.

81. Hoogmoed, W.B., « Chapitre 13 – outils de travail de sol », Archives de documents de la FAO, le travail de sol pour une agriculture durable. Cours de formation,(4 -13 Juillet 1994),Niamey, Niger, (1997), 7p .
82. Stengel, P., « Utilisation de l'analyse des systèmes de porosité pour la caractérisation de l'état physique du sol in situ », Ann, Agron, n°30,(1979), 27-49.
83. Musy, A. et Soutter, M., «Physique du sol », Ed, Presses polytechniques et Universitaires Romandes, Suisse, (1991), 335p.
84. Stengel, P., «Incidence de la simplification du travail du sol sur la porosité de la couche arable »,Ed, Institut technique de céréales et fourrages,(1976),134-149.
85. Hill, R.L., «Long term conventional and no tillage effects on selected soil physical proprieties», Soil Sci, Soc .Am .J, V.54, n°1, (1990),161-166.
86. Boone, F. R., Slager, S., Miedema, R et Eleveld, R.,«Some influence of zero tillage on the structure and stability of a fine texture driver levee soil», Neth, J, Agric.sci, V.24, (1976),105-119.
87. Pidgem, J.D et Soane, B.D., « Effects of tillage and direct drilling on soil properties during the growing season in a long-term barley monoculture system», J, Agric. Sci, n°88, (1977), 431-442.
88. Pagliai, M.; La Marca, M. et Lucamante, G., «Micromorphometric and micromorphological investigations of a clay loam soil in viticulture under zero and conventional tillage», J,Soil Sci,V.34,(1983), 391-403.
89. Hill, R.L. et Cruse, R.M., «Tillage effects on soil bulk density and soil strength of two molisols», Soil Sci,Soc. Am. J,V.18, n°1, (1985),96 –106.
90. Pagliai, M., « Effet de diverses méthodes de gestion du sol sur la structure du sol et la formation des croûtes de surface »,Congrès international de micromorphologie, Résumés, I.N.A. Paris,(1985),90p.

91. Bouma, J., Jongerius, O., Boersma, A., Jageret Schoonderbeek, D., «The function of different types of macro pores during saturated flow through four swelling soil horizon», *Soil Sci. Amer. J.*, V. 41, (1977), 945-950.
92. Lamande, M., Hallaire, V., Curmi, P., Peres, G. et Cluzeau, D., «Changes of pore morphology, infiltration and earthworm community in a loamy soil under different agricultural managements», *Catena*, V.54, n°3, (2003), 637-649.
93. Tessier, D., Bruand, A., Le Issonais, Y. et Dambrine, E., «Qualité chimique et physique des sols, variabilité spatiale et évolution, étude et gestion des Sols », V.3, n°4, (1996), 229-244.
94. Poiree, M et Ollier, Ch.,. « Les réseaux d'irrigation : Théorie, technique et économie des arrosages », Paris, (1971), 454p.
95. Labreuche, J., Couture, D. et Bodet, J.M., « Essai travail du sol longue durée de Boigneville : 35 ans d'enseignements », Ed ARVALIS, Institut du végétal, (2005), 4p.
96. Recous, S., « Réponse des matières organiques des sols aux changements atmosphérique globaux II. Effet de la température sur la minéralisation d'un résidu végétal (maïs) et de la matière organique des sols », Séminaire écosystèmes et changements globaux, Dourda, (1994), Pp 81-85.
97. Joao Carlos, M.S., Carlos, C., Cerri Marisa, C. P., Brigitte, E., Feigl, J.P., Allison, F, Mária, F.M., Lucien S., Serge, B, Solismar, P., Venzke, F., Volenei, P. Et Marcos, S., «Le semis direct comme base de système de production visant la séquestration du carbone », n° 84, (2004), 45 – 61.
98. Seguy, M., et Bouzinac, S., « Rapport synthétique CIRAD Brésil », (2005), 126p.

99. Carr, P.M., Horsley, R.D., et Martin, G.B., «Impact of tillage and crop rotation on grain yield of spring wheat»,(2006).
100. Unger, P.W. et Baumhardt, R.L., «Factors related to dryland grain sorghum yield increases: 1939 through 1997», Agron. J,n^o91, (1999), 870–875.
101. Abdellaoui, Z., H. Tissekrat, A. Belhadj, et Zeghouane, O., « Etude comparative de l'effet du travail conventionnel, semis direct et travail minimum sur le comportement d'une culture de blé dur dans la zone sub-humide », Les actes des 4e Rencontres Méditerranéennes du Semis Direct, Sétif Algérie (3-4 et 5 mai 2010).
102. Chopart, J.L., « Chapitre 5 – Systèmes racinaires des cultures annuelles tropicales: Effets du travail du sol sur les racines. Archives de document de la FAO, le travail de sol pour une agriculture durable », Cour de formation, 4 -13 Juillet 1994.6 p. Niamey, Niger, 1997.
103. Maertens, C., « Influence des propriétés physiques des sols sur le développement racinaire et conséquences sur l'alimentation hydrique et azotée des cultures », Science de sol, V. 2, (1964),31-41.
104. Chopart, J.L. et Nicou, R., « Influence du labour sur le développement racinaire de différentes plantes cultivées au Sénégal », Conséquences sur leur alimentation hydrique, L'agronomie Tropicale. V. 31, n^o1, (1976), 7-28.
105. Charreau, C. et Nicou, R., « Amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo- argileux de la zone tropicale sèche ouest – Africaine et ses incidences agronomiques », L'Agronomie tropicale n^o5, 209 -255, n^o9 903 -978, n^o11 1184 -1247, (1971).
106. Nicou, R., « Le travail du sol dans les terres exondées du Sénégal : Motivations, contraintes ». Doc. Mult ISRA CNRA, Bambey, Sénégal. (1977), 52p.

107. Chopart, J.L., Kalms, J.M., Marquette, J et Nicou, R., « Comparaison de différentes techniques de travail du sol en trois écologies de l'Afrique de L'Ouest », IRAT (CIRAD), Montpellier, France ; (1981), 66p.
108. Bouazza, A., Response of durum wheat cultivars to Algerian environments -II. Adaptive traits. *J. Agri. Environ. Intern. Development*, n°96,(2001),189-208.
109. Chennafi, H., Aïdaoui, A., Bouzerzour, H. et Saci, A. «Yield reponse of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar Waha to deficit irrigation under semiarid growth conditions», *Asian J. Plant Sci.*,n°5, (2006), 854-860.
110. Ouamer, A.,« Etude de quelques propriétés physiques des sols de la région de Sétif », Mémoire d'ingénieur , INA, Alger, (2007), 58 p.
111. Annichiarico, P., Abdellaoui, Z. Melouki, M. Et Zerargui, H. «Grain yield, straw yield and economic values of tall semi dwarf durum wheat cultivars in Algeria», *J, Agric.,Sci.*, n°143, (2005),54-64.
112. Duchaufour, PH. « Abrégé de pédologie. sol, végétation, environnement », Masson, Paris, (1997),291p.
113. Blake GR et Hartge KH., «Methods of Soil Analysis»,Ed, Arnold Klute,(American Society of Agronomy–Soil Science Society of America, Publisher, Madison, WI, (1985),363-382.
114. Decagon D., Inc, *Mini Disk Infiltrrometer. User's Manual*,(2005), (<http://www.decagon.com/literature/manuals/InfiltrrometerManual.pdf>. Consulté en 2008).
115. Harrad F., « Contribution à l'établissement d'un itinéraire technique pour la mise en place du blé dans les zones sahariennes (Adrar), effet de la succession des outils aratoires sur le développement de la plante », Thèse Magister. I.N.A. El Harrach, (2003), 98p

116. Serieys H., «Agrophysiological consequences of a divergent selection based on foliar desiccation in sunflower», Proc Int Symp on Physiology-Breeding of Winter Cereals, 3-6 July, Montpellier, France. Colloques de l'INRA n°55,(1992), 211-224
117. Marin M.A., Brown J.H. et Ferguson H., «Leaf water potential, relative water content and diffusivity resistance as screening techniques for drought resistance in barley», Agron, J.n°81,(1989), 100-105.
118. Gouet et Philippeau, «Comment interpréter l'analyse statistique d'un essai : Mathématique, statistique et informatique appliquées à la biologie, à l'écologie, l'agronomie, à l'agro-alimentaire et à la zootechnie », Ed, ITCF, (1986) p.276 p
119. Radford, B.J., B.J Bridge., R.J Davis., D. Mc Garry., U.P. Pillali., J.F Rickman., P.A. Walsh. et D.F. Yule., « Changes in the properties of a vertisol and responses of wheat after compaction with harvester traffic», Soil & Tillage Research. V.54,n°(3-4), (2000),155-170.
120. Nadjem, K., « Contribution à l'étude des effets du semis direct sur l'efficience d'utilisation de l'eau et le comportement variétal de la culture du blé en région semi-aride », Mémoire de Magister , UFAS sétif, (2012), 108p.
121. Klein JD., I. Mufradi, S. Cohen, Y. Hebbe, S. Asido, B. Dolgin, D.J. Bonfil. «Establishment of wheat seedlings after early sowing and germination in an arid Mediterranean environment», Agron. J, 94, (2002), 585–593.
122. Thompson, J.A. et Chase D.L., « Effect of limited irrigation on growth and yield of a semi-dwarf wheat in Southern New Wales», Australan J. of Expermental Agric, n°32, (1992),725-730.
123. Zi-zen Li, Wei-De Li et Wen-Long Li, «Dry-period irrigation and fertilizer application affect wateruse yield of spring wheat in semi-arid regions», Agricultural water Management, n°65, (2004),133-143 .

124. Norwodd, C., « Profile water distribution and grain yield as affected by cropping system and tillage », *Agronomy Journal*, n°86, (1994), 558-563.
125. Nouri, L., Ykhlef, N. et Djekoun, A., « Adjustment osmotique et comportement hydrique chez certaines variétés de blé dur : relation avec la tolérance à la sécheresse », *Actes de séminaire', IIIème journée Scientifique sur le blé', Ed, Univ. Mentouri. Constantine,(2002).*
126. Mrabet R., «Crop residue management and tillage systems for water conservation in a semi-arid area of Morocco», *Ph.D. Diss. Colorado State University, for Collins, Co.USA, (1997), 209p.*
127. Abdellaouiz.,H.Teskrat,A.Belhadj,O. Et Zaghouane., « Étude comparative de l'effet du travail conventionnel, semis direct et travail minimum sur le comportement d'une culture de blé dur dans la zone subhumide », *Options Méditerranéennes*, n°96, (2011), 71-87.
128. Fortas, B., et Hamssi, K., « Etude de l'effet de trois modes conduites culturale sur la production végétale dans les conditions des hautes plaines céréalières », *Mémoire d'ingénieur UFAS Sétif, Algérie,(2011),67p.*
129. Angar, H., Ben Haj, S. et Benhammouda, M., « Semis direct et semis conventionnel en Tunisie : les résultats agronomiques de 10 ans de comparaison », *Options Méditerranéennes* , n°96, (2011), 53-59.
130. Bessam, F. Et Mrabet. R., «Time influence of no tillage on organic matter and its quality of a verticCalcixeroll in a semiarid aera of morocco», *Soil Till Research*,n°80, (2001), 221-227.
131. Bouzrara, S., et Ferroukh, H., « Influence du semis direct et des techniques culturales simplifiées sur les propriétés d'un sol de ferme pilote Sersour (Sétif) », *Les actes des 4e Rencontres Méditerranéennes du Semis Direct, Sétif, Algérie (3-4 et 5 mai 2010), N° spécial. Revue Recherche agronomique, (2010), 83-89.*

132. Dinel, H. et E. Gregorich., « Structural stability status as affected by longterm continuous maize and Bluegrass sod treatments», *Biological Agriculture and Horticulture*, n°2, (1995),237-252.
133. Hannachi, A. et Fellahi, Z., « Effets des résidus et du travail du sol sur le comportement du blé dur (*Triticum durum*, Desf) en zone semi-aride ». Mémoire d'ingénieur,UFAS, (2010),58p.
134. Pala, M., Harris, HC., Ryan, J., Makboul, R. et Dozom, S., «Tillage systems and stubble management in a Mediterranean-type environment in relation to crop yield and soil moisture», *Experimental Agriculture*, n°36, (2000), 223-242.
135. Sadaghi, H., et Bahrani, MJ., «Effects of crop residue and nitrogen rates on yield and yield components of two dryland wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars», *Plant Prod, Sci*, n°12, (2009),497-502.
136. Smika, DE., «Fallow management practices for wheat production in the central Great Plains», *Agron. J*,n°82,(1990),319–323.
137. Fellahi, Z., Hannachi, A., Chennafi, H., Makhlouf, M. et Bouzerzour, H., « Effets des résidus et du travail du sol sur la cinétique d'accumulation de la biomasse, le rendement et l'utilisation de l'eau du blé dur (*Triticum durum* Desf., variété MBB) sous conditions climatiques des hautes plaines Sétifiennes », *Annales des Sciences et la Technologie* (sous presses),2011.
138. Chennafi, H., Hannachi, A., Touahria, O., Fellahi, ZEA., Makhlouf, M. et Bouzerzour, H., « Tillage and residue management effect on durum wheat [*Triticum turgidum* (L.) Thell.ssp. *turgidum* conv. *durum* (Desf.) MacKey] growth and yield under semi- arid climate», *Advances in Environmental Biology*, n°5,(2011),3231-3240.
139. Basic, F., Kisic, I., Mesic, M., Nestroy, O. et Butorac, A., « Tillage and crop management effects on soil erosion in central Croatia», *Soil and Tillage Res*, 78, (2004),197-206.

140. Lopez-Fando, C. et Pardo, MT., « Use of a partial-width tillage system maintains benefits of no-tillage in increasing total soil nitrogen », *Soil & Tillage Research*, n°118 , (2012),32-39.
141. Stephen, DS., Carol, EL. et Charles, WK., « Soil quality response to tillage and crop residue removal under subarctic conditions », *Soil & Tillage Research*, n°91, (2006),15–21.
142. Bescansa, P., Imaz, MJ., Vitro, I., Enrique, A. et Hoogmoed, WB., « Soil water retention as affected by tillage and residue management in semiarid Spain », *Soil & Tillage Research*, n°87, (2006),19–27 .
143. Wilhelm, W., Johnson, JMF., Hatfield, JL., Voorhees, WB. et Linden, DR., « Crop and soil productivity response to corn residue removal: A literature review », *Agron. J*, n°96 , (2004),1-15.
144. Touahria, O., « Effets des résidus et du non-labour sur le comportement de la céréale sous conditions semi-arides des hautes plaines orientales », Thèse de Magister., UFA Sétif , (2011), 53 p.
145. Findeling A. « Étude et modélisation de certains effets du semis direct avec paillis de résidus sur les bilans hydrique, thermique et azoté d'une culture de maïs pluvial au Mexique », Thèse de Doctorat de l'ENGREF, Montpellier, (2001),355 pages.
146. Bellemou, A., Etude des résultats d'essais de différentes techniques de semis du blé dur (CHEN'S). Thèse Magister. I.N.A. El Harrach, (2012),152 p.
147. Mrabet, R., « Effects of residue management and cropping systems on wheat yield stability in a semiarid Mediterranean clay soil », *American Journal of Plant Sciences*, n°2, (2011),202-216.
148. Martinez, E., Fuentes, JP., Silva, P., Valle, S. et Acevedo, E., « Soil physical properties and wheat root growth under no-tillage and

conventional tillage systems in a Mediterranean environment of Chile», *Soil & Tillage Research*, n°99, (2008), 232–244.

149. Batouche, S. et Labiod, H., « Les sols des hautes plaines Sétifiennes : Inventaire, analyse et synthèse des études pédologiques réalisées dans cette régions de 1965 à 1985 : essais de thematisation », Mémoire ingénieur, UFA Sétif, (1991),133 p.
150. Escribano, J. « Étude des effets de l'agriculture de conservation par rapport à l'agriculture traditionnelle », *Options Méditerranéennes, Série A*, n°69, (2006),57-61.
151. Khaledian, M.R., Ruelle, P., Mailhol, J.C., Delage, L. et Rosique, P., « Evaluating direct seeding on mulch on a field scale », *Options Méditerranéennes, Série A*, n°69, (2006),125-129.
152. Quartacci, M.F., and Navari-Izzo. F. « Water stress and free radical mediated changes in sunflower seedlings», *J. Plant Physiol.* 139, (1992), 621-625.
153. Wardlaw, I.F.; Dawson, I.A.; Munibi, P.; Fewster, R., «The tolerance of wheat to high temperatures during reproductive growth», II. Survey procedures and general response patterns, *Australian Journal of Agricultural Research*, n°40, (1989),1-13.
154. Blum,A., « Breeding for Stress Environments»,CRC Press,Ed, Bca Rota,(1986), 223p.
155. Harding J., Byrne N.T., et Yu Y., «Quantitative genetic analysis of flowering time in the Davis population of gerbera. I: Correlations with yield, flower quality traits and the efficiency of indirect selection», *Euphytica*, n°70,(1990),97-103.
156. Couvreur F., « Formation du rendement du blé et risques climatiques », *Pers agri*,n°95,(1985),12-15.

157. Bagga A-K., Rowali N-K. et Asana R-D., « Comparaison of reponse of some Indian and semi dwarf mexican wheat to unirrigate cultivation », Agr sci. n° 40, (1970), 421-427.
158. Moulai L., « Caractérisation de l'érosivité du bassin versant des hauts plateaux constantinois », Thèse magister. I.N.A. EL Harrach, (2000), 57p.
159. Monneveux P., « Quelle stratégie pour l'amélioration de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver. Journée scientifique de l'AUPELF : amélioration des plantes pour l'adaptation au milieu aride », Tunis, (9 décembre 1989).
160. Zair M., « L'irrigation d'appoint et la fertilisation azotée du blé dur, Céréaliculture », n°24, (1994), 17.
161. Jonard P., « Etude comparative de la croissance de deux variétés de blé tendre », Anatomie des plantes, V.14, n°2, (1964), 101-130.
162. Gate P., Bouthier A. et Monier J-L., « La tolérance des variétés de blé tendre d'hiver à la sécheresse : une réalité à valoriser », Persagri, n°169, (1992), 62-67.
163. Jouve P., « Relation entre déficit hydrique et rendement des céréales (blé tendre et orge) en milieu aride », Agronomietropicale, V.39, n°4, (1984), 308-315.
164. Grignac P., « Rendement et composantes de rendement du blé d'hivers dans l'environnement méditerranéen français. Communication au conseil scientifique », Italie, 11ème édition, n° 1178, (1981), 185-195.
165. Soltner D., « Les grandes productions végétales, Phytotechnie spéciale », 19ème édition, Collection Sciences et techniques agricoles, Paris-France, (2001), 464p.

166. Bouzerzour, H., « Sélection pour le rendement, la précocité, la biomasse et l'indice de récolte chez l'orge (*H.vulgare*. L) en zone semi- aride », Thèse de doctorat ISN. Univ Constantine, (1998), 137p.
167. De Vita P., E. Paolo, G. Fecondo, N. Di Fonzo, M. Pisante., «No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy», *Soil & Tillage Research* n°92, (2007),9-78.
168. hammel, J.E., «Long-term tillage and crop rotation effects on winter production in northern Idaho», *Agron. J.* 87, (1995),16–22.
169. Mosseddaq F. et Moughli L., « Fertilisation azotée des céréales, cas des blés en irrigué », *Transfer de technologies en Agriculture*,n°62,(1999),4 p.
170. Abbas K., et Zitouni S., « compte rendu d'atelier n°3 : conduite de l'élevage en AC : conflit ou complémentarité ? Options Méditerranéennes, IV Rencontres Méditerranéennes du Semis, n°96, (201 0).
171. Auriou P., « Sélection pour le rendement en fonction du climat chez le blé », *Annale de l'INA, Alger*, V. 8 , n°2, (1978),5-11.
172. Cure, B., « Simplification du travail du sol et évolution du parasitisme », *Perspectives agricoles*, n°161, (1991),47-53.
173. Hamadech A., « Effet du précédent cultural en relation avec la fertilisation azotée et le désherbage chimique sur la productivité du blé dur pluvial en zone subhumide »,Premier symposium international sur la filière blé, Alger, 7-9 Février 1999.
174. Thomas, F., Effect of tillage practices on wheat performance in a semi-arid environment. *Soil Till. Res.* n°28 , (1994), 347-364.