

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE - EL-HARRACH – ALGER

Thèse en vue de l'Obtention du Diplôme de Magister en Sciences Agronomiques

Département : Génie rural

Spécialité : Machinisme et Agro-équipements

***ETUDE DES RESULTATS D'ESSAIS DE
DIFFERENTES TECHNIQUES DE SEMIS DU
BLE DUR (CHEN'S)***

Présentée par :

BELLEMOU Abdelkrim

Directeur de thèse : KACI F. (Maître de conférences à l'ENSA).

2012-02-13

Le jury : Président : HARTANI T. (Professeur à l'ENSA). Examineurs : KHEYAR M. O. (Chargé de cours à l'ENSA). REGUIEG L. (Maître de conférences à l'ENSA).

Table des matières

Remerciement . . .	6
Dédicace . . .	7
Liste des Abréviations . . .	8
Résumé . . .	9
Summary . . .	10
Introduction générale . . .	11
Partie bibliographique . . .	13
Chapitre I : La céréaliculture . . .	13
1. Généralité sur la céréaliculture . . .	13
2. Problématique de la céréaliculture en Algérie . . .	19
Conclusion . . .	20
Chapitre II : Le travail du sol . . .	20
Introduction . . .	20
1. Les techniques de travail du sol . . .	21
2 Les itinéraires techniques de travail du sol . . .	28
3 Effets du semis direct sur les composantes du milieu cultivé . . .	34
Conclusion . . .	41
Chapitre III : Impacte des techniques chlturales sans labour . . .	41
Introduction . . .	41
1. Les TCSL et l'érosion . . .	42
2. Impacte des TCSL sur la matière organique . . .	45
3. Impact des TCSL sur le tassement du sol . . .	50
4. Impact des TCSL sur la contamination des sols . . .	51
5. Impact des TCSL sur la biodiversité . . .	52
Conclusion . . .	56
Chapitre IV : Techniques de conservation de l'eau dans le sol . . .	57
Introduction . . .	57
1. Relation humidité du sol culture . . .	58
2. Situation de l'humidité dans le sol . . .	59
3. Méthodes d'amélioration de l'absorption de l'eau dans le sol . . .	59
4. Techniques de réduction des pertes d'humidité du sol . . .	60
5. Effet du travail du sol sur la conservation de l'humidité du sol . . .	60
6. La conservation de l'eau dans les rotations du blé sous différents techniques de travail de sol . . .	62
Conclusion . . .	63
Conclusion de la partie bibliographique . . .	64
Partie expérimentale . . .	66
Introduction de la partie expérimentale . . .	66
Chapitre I : Localisatin et conditions expérimentales . . .	67
1. Présentation du milieu d'étude . . .	67
Chapitre II : Matériel et méthodes . . .	70

1. Protocole expérimental . . .	70
2. Matériel d'étude . . .	72
3. Conduite et suivi de l'étude expérimentale . . .	78
4. Techniques et méthodes de mesure . . .	80
Chapitre III : Discussions des résultats de l'effet des techniques de semis sur les propriétés du sol . . .	87
Introduction . . .	87
1. Effet des techniques culturales sur l'humidité . . .	88
2. Effet des techniques culturales sur la porosité . . .	91
3. Effet des techniques culturales sur la résistance pénétrométrique . . .	93
4. Analyse statistique des résultats de l'effet des techniques culturales sur les propriétés du sol . . .	95
5. La matrice de corrélation entre les différents paramètres [H(%), n (%), Rp (daN/cm ²)] . . .	96
6. Analyse statistique de l'effet de la technique de travail conventionnel et semis direct sur la rétention en eau . . .	97
7. Analyse statistique de l'effet de la technique de travail conventionnel et semis direct sur la résistance pénétrométrique . . .	101
Conclusion . . .	105
Chapitre III : Discussions des résultats de l'effet des techniques de semis sur le rendement et ses composantes . . .	105
Introduction . . .	105
1. L'indice des techniques culturales sur la hauteur des tiges . . .	106
2. L'indice des techniques culturales sur le nombre d'épi par mètre carré . . .	107
3. L'indice des techniques culturales sur le nombre d'épillets par épi . . .	109
4. L'indice des techniques culturales sur le nombre de grains par épi . . .	110
5. L'indice des techniques culturales sur le poids de mille grains . . .	113
6. L'indice des techniques culturales sur le rendement parcellaire . . .	114
7. L'indice des techniques culturales sur le taux de recouvrement par les mauvaises herbes . . .	120
8. L'indice des techniques culturales sur le taux de la matière organique . . .	122
Conclusion . . .	123
Conclusion générale . . .	124
Références bibliographiques . . .	126
Annexes . . .	141
Annexe 01 : Mesure de l'humidité . . .	141
Annexe 02 : Mesure de la porosité . . .	142
Annexe 03 : Mesure de la résistance pénétrométrique . . .	143
Annexe 04 : la variation de la moyenne de chaque paramètre pour les quatre traitements . . .	144
Annexe 05 : représentation des corrélations entre les différents paramètres . . .	145
Annexe 06 : Nombre d'épillets par épi . . .	145
Annexe 07 : nombre de grains par épi . . .	146
Annexe 08 : la hauteur des tiges . . .	147
Annexe 09 : matière organique . . .	148

Annexe 10 : poids de mille grains . .	148
Annexe 11 : recouvrement par les mauvaises herbes . .	149
Annexe 12 : peuplement . .	150

Remerciement

La partie des remerciements est sans doute, une partie aussi difficile que la rédaction de la thèse, car les personnes, ayant participé de près ou de loin à l'élaboration de ce document, sont tellement nombreuses, qu'il m'est difficile (par oubli) de citer dans un temps record toutes ces personnes

Avant tout un très grand merci à Allah le tout puissant le miséricordieux car sans son aide et sa bienveillance rien de tout cela n'aura pu être possible

Je tiens à exprimer toute ma gratitude à mon Directeur de Thèse, monsieur KACI Ferhat, maitre de conférences à l'ENSA pour son aide, son soutien et ses conseils pour mener à bien ce travail et surtout pour sa confiance à mon égard.

Au Professeur HARTANI Tarek pour l'honneur qu'il me fait de présider le jury, ainsi qu'à monsieur REGUIEG Lies maitre de conférences à l'ENSA et à monsieur KHEYAR Mohand Ouali chargé de cours à l'ENSA d'avoir accepté de faire partie du jury.

Mes plus vifs remerciements également à monsieur AMARA Mahfoud, maitre de conférences à l'ENSA et monsieur MIKIRSI Skandar Directeur au MADR pour les orientations et conseils si précieux et pour l'ensemble des informations qui m'ont été communiquées

Je tiens à remercier mes proches, en particulier, mes parents, mes frères et ma sœur, mon épouse et sa petite famille, mes cousins et cousines, mes tantes et oncles et leurs maris et femmes ainsi qu'à mes amis qui m'ont tous encouragé à aller jusqu'au bout.

Merci à tous ceux qui mon aidés de près ou de loin durant la réalisation de ce travail.

Un très grand merci à tous

Dédicace

Je dédie ce travail : Tout d'abord à la mémoire de mes grande parents et à celle de tout les musulmans partout dans le monde, nous garderons toujours une pensée pour eux. A mes très chers parents qui m'ont donné la vie, tout appris, encouragé, soutenu et surtout aimé. A mes frères adorés Namou et Nanit A ma sœur chérie Ninema et son mari nino A ma femme aimée Mima ta3 Tita et sa famille A mes cousins Mounikt, Siscouz, Madidou Luky et Samikt et mes cousines bien évidemment A mes amis Lampard Alilou Couca Zaki BDD, Myrmidons et nounou A toute ma famille ; grands et petits A tous ceux qui aiment Allah et notre prophète Mohamed En fin à toute personne qui reconnaitra son empreinte sur ce modeste travail Qu'Allah nous réunisse dans son vaste paradis, Amiiiiiiiine Toujours faire face ;)

Liste des Abréviations

- **CIRAD** Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement.
- **FAO** *Food and Agriculture Organization* .
- **TCSL** Techniques Culturelles Sans Labour.
- **MADR** Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.
- **OAIC** Office Algérien Interprofessionnel des Céréales.
- **SAU** Surface Agricole Utile.
- **USDA** United States Department of Agriculture.
- **SCV** Sous Couvert Végétal.
- **SSSA** Soil Science Society of America
- **CCE** Commission des Communautés Européennes.
- **UE** Union Européenne.
- **MOS** Matière Organique du Sol.
- **MOP** Matière Organique Particulaire.
- **RFU** Réserve Facilement Utilisable.
- **RUR** Réserve Utile.
- **ITGC** Institut Technique des Grandes Cultures.
- **ANRH** Agence National de Ressource en Hydrique.
- **ENSA** Ecole Nationale Supérieure Agronomique.
- **TSL** Techniques Sans Labour
- **CEC** Capacité d'Echanges Cationiques.
- **Rdt** Rendement.
- **H%** Humidité.
- **n%** Porosité.
- **RPR** Résistance Pénétrométrique.
- **SD** Semi Direct.
- **TC** Travail Conventionnel.
- **TM** Travail Minimum.
- **PJmax** Pluviométrie Journalière Maximale.
- **Nbrjrspluv** Nombre de jours pluvieux.
- **T^o min** Température minimale.
- **T^o max** Température maximale.
- **T^o moy** Température moyenne.

Résumé

Cette thèse s'intéresse à l'étude des résultats d'essais de différentes techniques de semis à savoir la technique conventionnel, le travail minimum et le semis direct et l'analyse de leurs effets sur les propriétés du sol (la rétention en eau, la porosité et la résistance pénétrométrique), la détermination de ces paramètres permet d'évaluer le rendement et ses composantes. Les essais réalisés à la station expérimentale de l'institut technique des grandes cultures sur un sol argileux-limono cultivé en blé dur ont montrés au bout de la cinquième campagne que les paramètres du sol, la matière organique et le rendement et ses composantes sont influencés par les techniques culturales. Sur les trois traitements, le travail conventionnel a donné les meilleurs rendements en blé, une porosité élevée et une résistance pénétrométrique réduite. La stabilité structurale est meilleure dans le semis direct, car, en surface, la matière organique y est plus abondante, la rétention en eau est meilleur ainsi que la réduction du temps de la main d'œuvre et de l'énergie ce qui permet de réduire les coûts.

Mots clés : techniques de semis, semis direct, propriétés du sol, teneur en eau, blé dur, rendement.

Summary

This thesis is interested in the study of the trial results of various techniques of sowing (the conventional technique, the minimum work and the direct sowing) and the analysis of their effects on the soil properties (the water retention, the porosity and the penetration resistance), the determination of these parameters allows to estimate the yield and its constituents. The trials realized in the experimental station of the technical institute of big crops on a clay-loam soil cultivated with durum wheat showed at the end of her fifth that the soil parameters, organic matter, and the yield and its constituents are influenced by these cultivation techniques. On the three treatments, the conventional work gave the best yields in wheat, a high porosity and a reduced penetration resistance. The structural stability is better in the direct sowing, because, on the surface, the organic matter is more plentiful, the water retention is better as well as the reduction of the labor and the energy what allows to reduce the costs.

Keywords : techniques of sowing, direct sowing, soil properties, water retention, durum wheat, yield.

Introduction générale

Pour nourrir une population mondiale en constante augmentation, il faut accroître sans cesse la production agricole. Cet objectif peut être atteint par l'augmentation des surfaces en production et/ou par l'augmentation de la productivité des systèmes de culture. Cependant, l'intensification des systèmes de culture s'est accompagnée d'un certain nombre d'effets néfastes sur les propriétés du sol et sur l'environnement qui ont conduit à une forte remise en cause des techniques agricoles utilisées. Il faut donc proposer de nouveaux systèmes de culture pour répondre à ces attentes, souvent contradictoires, sur la productivité agricole, le respect de l'environnement et la rentabilité économique. Dans ce contexte, un des rôles de la recherche agronomique est de fournir des bases scientifiques pour concevoir ces systèmes de culture.

En Afrique du Nord, la ressource en eau constitue le facteur majeur limitant le développement agricole, économique et social. En effet, l'environnement physique dans cette région est caractérisé par une pluviométrie faible, aléatoire et agressive, mais aussi des sols généralement peu productifs et une couverture végétale très éparse. La forte croissance démographique et les insuffisances techniques, économiques et foncières obligent les agriculteurs à exploiter au maximum le disponible végétal. Cette pression sur la terre s'est traduite par le recours de plus en plus à la culture continue, l'utilisation des terres marginales et le surpâturage des parcours. Il en résulte une exploitation minière du milieu caractérisé par une diminution de la productivité et une dégradation des ressources naturelles (sol, eau et végétation). En effet, l'érosion des sols constitue un aspect majeur de la dégradation des paysages dans les environnements nord-africains (Griesbach, 1983 ; Merzouk, 1985 ; Halitim, 1988; Karmouni, 1988).

En Afrique du Nord, les sols sont extrêmement variés du fait de la diversité des substrats géologiques et des topographies mouvementées qui continuent à évoluer sous l'effet du climat et de l'homme (Kassam, 1981). Les sols y conditionnent l'agriculture et son avenir sous trois aspects : le maintien de leur existence (lutte contre l'érosion), l'amélioration de leur capacité de production (fertilité et qualité) et la mise en valeur de leur capacité productive par des pratiques appropriées.

Le défi majeur des pays Nord africains est double: assurer une sécurité alimentaire pour une population à fort taux démographique et amortir la dégradation des ressources naturelles. Ces pays ont besoin, plus que jamais, de revoir leurs modes d'utilisation des terres pour assurer une sécurité alimentaire et un développement agricole durable.

En Algérie, malgré la diversité des sols, des climats et des cultures, les mêmes techniques culturelles introduites par la colonisation sont toujours en vigueur excepté dans quelques coopératives. Ce travail a pour objectifs de mesurer l'impact de trois techniques de semis sur les propriétés physiques et hydriques du sol, ainsi que leurs conséquences sur les composantes du rendement d'une culture de blé dur. Toutefois, quelques expériences récentes ont été initiées mais n'ont pas abouti à des résultats concluants, compte tenu de la durée des expérimentations. Ces travaux se justifient à plus d'un titre, car notre pays est continuellement soumis à de graves phénomènes d'érosion, lesquels sont aggravés par des pratiques totalement inadaptées au contexte pédoclimatique.

De nombreux chercheurs parmi lesquels ceux du CIRAD, lors d'un séminaire tenu en 2009, ont recommandé aux pays de la rive sud de la méditerranée de changer leurs pratiques agricoles afin de mieux s'adapter aux changements climatiques et hydrologiques. Ils estiment que « les systèmes de culture conventionnels ne peuvent répondre aujourd'hui aux exigences alimentaires et de revenus d'une population en forte croissance démographique ». Partant de ce principe, ils ont exposé une nouvelle technologie agricole, expérimentée déjà au Brésil, en Australie, au Maroc et en Tunisie basée sur la valorisation des systèmes de culture sans labour qui permettent d'éliminer le travail du sol afin de conserver la matière organique et protéger les sols de l'érosion. Par ailleurs, les cultures peuvent mieux optimiser la consommation hydrique en limitant le phénomène de ruissellement qui entraîne une dégradation rapide de la structure des sols en surface.

En dépit de l'importance du labour et tous les avantages qu'il offre, il présente néanmoins quelques inconvénients, et c'est dans ce contexte que les notions de TCSL (Techniques Culturelles Sans Labour) sont apparues. Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) en 2005, les méthodes de travail du sol utilisées de nos jours par la plupart des agriculteurs sont une cause importante d'érosion des sols et de désertification sur de nombreuses terres agricoles. Par conséquent, les agriculteurs et les chercheurs ont collaborés pour trouver d'autres solutions au travail traditionnel du sol, des moyens de cultiver qui perturbent moins le sol et réduisent donc l'érosion. L'agriculture de conservation est une solution de rechange au travail traditionnel du sol qui s'efforce d'inverser le processus de dégradation du sol.

Donc la problématique qui s'impose se définit comme suit :

Comment peut on choisir le système de culture adéquat, et sur quel paramètres faut il se focalisé le plus ?

D'une autre manière :

Pour passer d'un système de culture à un autre quels sont les paramètres à prendre en considération et en dépit de quels autres paramètres ?

Pour aboutir à des réponses concluantes, une expérimentation a été menée à la station expérimentale de l'Institut Technique des Grandes Cultures d'El Harrach. Ce travail est structuré en deux parties principales, la première est une synthèse bibliographique portant sur la céréaliculture, le travail du sol, l'impacte des techniques culturelles sans labour et les techniques de conservation de l'eau dans le sol. Nous présenterons dans la deuxième partie le matériel et les méthodes mis en œuvre, puis les résultats obtenus et leur interprétation à l'aide de l'analyse statistique. Une conclusion générale clôture ce travail en mettant en relief les résultats les plus importants et suggère d'autres perspectives de recherche dans ce domaine.

Partie bibliographique

Chapitre I : 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 et pour 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.

Bien que considérée comme relativement développée, la mécanisation de la céréaliculture algérienne ne répond que partiellement aux conditions édaphiques et climatiques. Grande consommatrice d'énergie, cette technique à base de labour est responsable également de la dégradation physique des sols et de l'environnement, ce qui peut menacer la durabilité même de l'agriculture (Kheyar M.O. Amara M. et Harrad F, 2007).

1. Généralité sur la céréaliculture

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 (MADR, 2011). La production des céréales en 2010 a atteint 45.581.000 quintaux, selon la direction des statistiques au niveau du MADR, 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 (MADR, 2011). 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 01 et 02).

Tableau 1: Accroissement des superficies, des rendements, des productions et des importations du blé dur en Algérie

ETUDE DES RESULTATS D'ESSAIS DE DIFFERENTES TECHNIQUES DE SEMIS DU BLE DUR (CHEN'S)

	Superficies (ha)	Rendements (quintaux/ha)	Productions (quintaux)	Importations (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

Source : MADR 2011

Tableau 2: Accroissement des superficies, des rendements, des productions et des importations du blé tendre en Algérie

	Superficies (ha)	Rendements (quintaux/ha)	Productions (quintaux)	Importations (quintaux)
2000	860 170	10	02 740 270	12 195 130
2001	834 760	11	08 003 480	17 693 400
2002	813 770	09	05 508 360	24 364 130
2003	812 510	15	11 625 590	22 047 090
2004	808 750	10	07 290 000	16 840 280
2005	721 248	15	08 460 185	26 798 220
2006	700 066	15	09 151 300	27 458 790
2007	660 000	15	09 460 000	32 972 790
2008	635 754	12	03 437 000	43 689 110
2009	601 189	19,30	11 388 230	38 475 625
2010	608 340	15,03	09 142 000	39 863 053

Source : MADR 2011

1.1. 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, 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 distribution dans le temps et dans l'espace. La variabilité des précipitations explique 75 % de la variation du rendement de blé (Blum et Pnuel, 1990). 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 (Musick et al., 1994).

1.2. Evolution des superficies et des productions dans le monde

La production mondiale de tous les types de blés 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](#) (C.I.C 2011). 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.

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. 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 3).























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	61 739 750	9.1 %
 États-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 %
 Kazakhstan	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 %
 Égypte	1 321 751	6 448	8 522 995	1.2 %
 Argentine	4 334 780	1 747	7 573 254	1.1 %
 Ouzbékistan	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 %

Tableau 3 : Production de blé dans le monde en 2010

Source: FAOSTAT 2011

1.3. Importance de la culture de blé en Algérie et dans les pays du Maghreb

Avec plus de 5,23 millions de tonnes de blé importés en 2010, l'Algérie est désormais le premier importateur de blé dans le monde. La facture a atteint ainsi le montant de 510 millions de dollars US sachant que le prix de la tonne de blé dur est compris entre 180 et 210 dollars US selon les années. Pour le blé tendre, la France vend 50% de sa marchandise au client Algérien public et 50% au privé, alors que ses exportations en blé dur sont à 100% le fait du privé puisque l'Office Algérien Interprofessionnel des Céréales (OAIC) a signé un accord avec le Canada dans ce sens. En termes plus clairs, les deux tiers des achats de l'Algérie en blé tendre sont fournis par la France. Nous remarquons sur le tableau 4, que durant la période 1991-2001, l'Algérie a importé plus de 66% du total importé par les pays du Maghreb avec un pic d'importation dépassant les 71% pour la période 1991-1995. Ceci est du vraisemblablement à la consommation importante de cette céréale (Belaid, 2002; Amir et al., 2004). La consommation a atteint son plus haut niveau 3,4 millions de tonnes

en 1999, dépassant ainsi largement celle des autres pays du Maghreb. A cause des effets de la forte sécheresse enregistrée ces dernières saisons dans ces pays, la production de cette région a connu une baisse sensible de plus de 5 millions de tonnes, soit des pertes évaluées à 50%. Ce qui a engendré en toute logique, une augmentation des importations de 8 à 10 millions de tonnes. La production du Maghreb en blé dur a elle aussi, enregistré une chute de moins de 35 millions de tonnes. Cette situation n'a pas, faut-il le souligner, épargner les autres régions du monde.

Tableau 4 : Evolution de la production céréalière par période

Période	Superficie récoltée (ha)	Production (q)	Rendement (q/ha)
1970-1979	3.065.412	18.112.384	5,90
1980-1989	2.604.508	17.872.235	6,8
1990-1999	2.406.000	23.433.000	9,7
2000-2010	2.417.950	34.595.539	14,30

Source : MADR 2011

Le tableau 05 indique les productions, consommations et importations du blé dur dans les pays du Maghreb par milliers de tonnes de 1991 à 2001.

Tableau 5: Productions, consommations et importations du blé dur dans les pays du Maghreb (milliers de tonnes).

	91-95	96-97	97-98	98-99	99-00	00-01
Algérie						
Productions	1110	1600	500	1500	900	700
Consommations	2162	3358	3158	3400	2900	2800
importations	1552	1758	2658	1900	2000	2100
Maroc						
Productions	1255	2270	882	1500	800	500
Consommations	1452	2623	1402	2000	1270	1100
importations	197	353	520	500	470	600
Tunisie						
Productions	958	1623	700	1100	1200	800
Consommations	1163	1746	1251	1350	1600	1250
importations	205	123	551	250	400	450
Libye						
Productions	112	100	100	100	100	100
Consommations	338	347	317	250	350	350
importations	226	247	217	150	250	250
Maghreb						
Productions	3434	5593	2182	4200	3000	2100
Consommations	5615	8074	6128	7000	6120	5500
importations	2181	2481	3948	2800	3120	3400

Source : (CIC, 2000).

1.4. Situation des blés d'hiver en Algérie

Le blé constitue une importante source d'alimentation dans les hauts plateaux et les plaines intérieures des régions semi-arides (pacage après récolte, sous forme de foin et de son),

parfois pour combler le vide fourrager durant les périodes creuses. Il occupe aussi une place prépondérante dans le système assolement rotation. Les céréales représentent une bonne part de l'alimentation humaine et animale, une source d'emploi et aussi occupent et rentrent en force dans les habitudes alimentaires de la population. D'après les statistiques agricoles du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (2010), la céréaliculture en Algérie occupe à elle seule 71% de la SAU. Le blé dur occupe la première place dans la production céréalière avec 67% en moyenne annuelle, son importance réside aussi dans la quantité consommée en moyenne de l'ordre de 220 kg/an/personne. Jusqu'à ce jour, l'Algérie n'est pas en mesure d'assurer sa sécurité alimentaire et compte sur l'importation pour combler les besoins d'une population qui ne cesse de croître au fil des années. En effet, le coût moyen des importations s'élève annuellement à plus de 2 milliards de dollars, dont les céréales représentent 30%, soit 600 millions de dollars (Selmi, 2000).

1.5. Exigences des blés d'hiver

1.5.1 Les exigences climatiques

En ce qui concerne la température, d'après J.Prats, 1971, les besoins du blé pour ce facteur sont différents selon les stades de culture : au début la température est de 0° c pour la germination, puis une somme de température de 150°c entre le semis et la levée, 500°c entre la levée et le tallage, 850°c entre la montaison et la floraison ensuite 850°c entre la floraison et la maturité ce qui donne une somme totale de tout le cycle de 2350°c. Dans la région du semi-aride, les fortes températures sont fréquentes et défavorables à la croissance du blé, surtout entre la floraison et le remplissage du grain, ces fortes températures peuvent provoquer l'échaudage (Baldy, 1972) quand elles dépassent les 30°c. Pour la lumière, celle-ci est nécessaire pour favoriser la morphogenèse, selon Soltner, 1990, elle dépend de la durée journalière (photopériodisme), l'intensité lumineuse influe directement sur la photosynthèse.

1.5.2 Les exigences en eau

L'eau constitue le véhicule des éléments nutritifs et avec lequel s'effectuent les différentes réactions métaboliques, ce qui le rend par conséquent indispensable pour le développement et la croissance de la plante. Pour avoir un bon rendement, le blé a besoin d'une quantité d'eau comprise entre 500mm à 650mm d'eau selon le climat et la longueur du cycle végétatif (Halet, 1980), au dessous de 500mm, la plante subira un effet de stress dont l'importance dépend de la répartition de cette eau (Boyeldie, 1980). L'alimentation hydrique des céréales comporte une période critique qui s'étend sur quatre à six semaines, du stade épiaison au stade grain laiteux pâteux (Mekliche, 1976). Cette période correspond aux phases de reproduction (durant lesquelles la culture entre en pleine croissance, en même temps commence le développement de ces inflorescences) et aux premiers stades de formation du grain, un manque d'eau durant cette période entraîne une chute de rendement considérable. En effet, du semis jusqu'au tallage, la quantité d'eau disponible dans le sol satisfait généralement ces phases même si le tallage exige une quantité plus importante que celle du semis. Toutefois, ces phases de croissance sont conditionnées par les techniques culturales appropriées, notamment la préparation du lit de semence de manière à créer une structure favorable à la germination et la levée de la culture, de conserver l'humidité disponible et permettre une bonne infiltration des eaux de pluies. Par contre, durant la phase montaison un manque d'eau dans le sol cause un arrêt de croissance des tiges et entraîne parfois la mort d'un grand nombre de talle, qui a son tour influe sur le nombre

d'épi/m² (Monteny, 1970 in Halet, 1977). De même que pour la phase floraison où le déficit hydrique est à craindre, car il peut inhiber la migration des réserves, donc, arrêt du grossissement des grains de blé, par la suite l'échaudage (Carls, 1959 in Day et al 1970). Toutefois, la contrainte climatique ne doit pas être perçue comme une fatalité, l'un des moyens les plus appropriés assurant l'utilisation efficiente des eaux de pluie et d'irrigation est la conservation en eau du sol par les techniques adéquates du travail du sol qui pourraient contribuer au maintien de l'eau dans le sol ainsi que le choix du précédent cultural.

1.5.3 Les exigences en sol

Pour la nature du sol, le blé préfère les terres argilo-calcaire ou limoneuse à limoneuse argileuse et profondes à structure stable et coagulée (Clement, 1970). Selon Soltner, 1983, une bonne terre à blé est celle qui présente les caractéristiques suivantes :

- Une texture fine assurant aux racines une grande surface de contact ;
- Une structure stable et non dégradée ;
- Une bonne profondeur, permettant aux racines d'utiliser l'eau profonde ;

(Couvreur, 1981) estime qu'un bon enracinement du blé constitue également une assurance contre les risques de sécheresse ultérieure, d'où l'intérêt d'une bonne préparation du sol. C'est à ce niveau qu'intervient l'intérêt du choix des techniques adéquates du travail du sol qui ont un rôle important sur l'émiettement du sol et sur la profondeur de travail.

2. Problématique de la céréaliculture en Algérie

Les grandes cultures sont essentiellement conduites sous régime pluvial, notamment les céréales qui occupent principalement la zone semi-aride, avec des emblavures annuelles comprises entre 2.900.000 et 3.500.000 hectares (Feliachi, 2000). Cependant, seulement un tiers de ces emblavures se situent dans l'étage bioclimatique recevant une pluviométrie moyenne supérieure à 450 mm/an. En fait, le climat de l'Algérie se caractérise par l'insuffisance des précipitations et leur irrégularité dans l'espace et dans le temps et aussi par des pluies torrentielles ou des averses de forte intensité ($I > 100$ mm/h) qui sont très fréquentes en automne au moment où la couverture végétale est faible (Arabi et Roose, 1989). Ainsi, la partie nord de l'Algérie est exposée au grave phénomène de perte de terre avec une érosion spécifique annuelle moyenne variant entre 2000 tonnes/km² et 4000 tonnes/km² (Demmak, 1982). Ce phénomène d'érosion hydrique en réduisant la surface agricole utile et en alluvionnant les oueds et les retenues, cause de graves problèmes sociaux et pousse les populations à l'exode rural. A ces contraintes climatiques et sociales, s'ajoute une 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, aggravant ainsi la dégradation et l'érosion des sols. Bien plus, les systèmes de production existants dans ces régions sensibles, sont handicapés par une monoculture de céréale, associée à l'élevage ovin. Les techniques conventionnelles de production de céréales semblent atteindre leurs limites. Elles sont mises en cause dans les phénomènes d'érosions hydrique et éolienne, la destruction de la matière organique et de la structure de sols (Fenster et Peterson, 1979 ; Cihra, 1982 ; Cochran et al., 1982 ; Wilhelm et al., 1982 ; Bouzerzour, 1983). 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. Le travail excessif des outils accentue le déplacement de la terre en bas des pentes. 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 semis, qui augmentent les risques d'érosions hydrique et éolienne dans des milieux déjà fragilisés. Les techniques culturales simplifiées et le semis direct sous couvert végétal apparaissent comme des alternatives à même de corriger l'impact négatif des systèmes de production adoptés par les agriculteurs. Elles arrivent à mieux contrôler l'érosion, stocker la matière organique, améliorer l'efficacité hydrique et restructurer le sol sous l'effet d'une meilleure activité biologique (Mrabet, 2000 ; Kribaa et al., 2001). Elles sont aussi intéressantes sous l'aspect économique (Juergens et al., 2004). Ces techniques méritent donc d'être mieux étudiées avant de se prononcer sur leur adoption par la profession. En effet, elles sont utilisées pour préserver le potentiel biologique et physicochimique des sols et les protéger des risques de l'érosion tout en limitant les frais de mécanisation. Le système du semis direct se voit comme premier pilier pour restaurer la fertilité des sols.

Conclusion

En effet, lorsqu'on considère les rendements du blé à l'échelle nationale voire régionale, on est frappé par leur extrême variabilité d'une région à l'autre et par leur grande irrégularité d'une année à l'autre. La variabilité climatique, les conditions édaphiques et surtout les techniques culturales expliquent les fluctuations des rendements en Algérie.

Le défi est, donc de développer des techniques culturales adéquates pour augmenter la production culturale et optimiser la ressource et l'efficacité d'utilisation de l'eau par la conservation maximale de cette eau dans le sol. Ceci ne peut se concevoir que par des études sur l'adaptation, des techniques culturales nouvellement introduites, voir les techniques simplifiées, plus précisément le semis, et les adaptées aux conditions Algériennes.

Chapitre II : Le travail du sol

Introduction

Les différentes opérations de travail du sol varient essentiellement en fonction de trois critères : (la profondeur de travail, l'existence ou non d'un retournement de la surface et le degré de mélange des horizons).

- Concernant la profondeur de travail du sol, nous différencierons trois niveaux :
 - Le travail profond : il correspond à des opérations affectant l'ensemble de l'épaisseur de la couche arable, c'est à dire la couche concernée par le labour (de 15 à 40 cm en général, mais de façon plus courante de 20 à 30 cm).
 - Le travail très profond : il correspond à des opérations affectant les couches profondes de sol, sous la couche arable, très rarement travaillées (profondeur de l'ordre de 60 cm et plus).
 - Le travail superficiel : il correspond à un travail n'excédant pas 15 cm de profondeur.

- Le retournement du sol se caractérise par une inversion des horizons. Les résidus de culture présents en surface sont dans la plupart des cas enfouis en fond de travail, sans réel mélange avec la terre. Il ne reste plus vraiment de résidus en surface. Le retournement implique aussi un mélange des horizons du sol.
- Le mélange des couches de terre se traduit par une perturbation des horizons de sol, un enfouissement au moins partiel des résidus de culture initialement en surface, ainsi qu'une dilution des éléments initialement concentrés en surface.

Cinq groupes d'opérations peuvent être identifiés à l'aide de ces trois critères : labour, pseudo-labour, décompactage, sous-solage et travail superficiel.

Deux autres opérations seront également définies : le travail en bandes et le billonnage. Ces deux opérations sont pratiquées essentiellement sur le continent nord-américain. Il faut noter qu'aux Etats-Unis, l'USDA (ministère américain de l'agriculture) utilise un autre critère pour classer les opérations de travail du sol : le taux de couverture du sol par les résidus de culture et les cultures intermédiaires. Ce critère permet d'identifier les techniques qui permettent de lutter contre l'érosion. La classification repose sur le fait que le sol doit posséder un taux de couverture supérieur à 30% pour être efficacement protégé contre l'érosion hydrique. Pour lutter contre l'érosion éolienne, l'USDA considère que la quantité de résidus en surface doit être supérieure à 1,1 t/ha. Les opérations culturales qui permettent de réduire ces formes d'érosion et qui limitent les perturbations verticales du sol sont alors considérées comme étant des opérations de travail du sol de conservation ("Conservation tillage"). Dans les campagnes comme dans la bibliographie, il existe de nombreuses confusions entre les dénominations des différentes opérations. L'objectif de ce chapitre est de dissiper ces confusions, en proposant des définitions claires et précises des opérations et des itinéraires techniques de travail du sol.

1. Les techniques de travail du sol

Les techniques culturales sont le premier responsable du bon développement des cultures et garantissant en grande partie le haut rendement.

Les opérations de travail du sol permettent de "reconstruire" un système qui nous permet d'obtenir un état structural final du sol favorable à la mise en place des cultures et à leur développement racinaire. Il permet l'entretien du sol et la réorganisation de sa structure en vue d'accueillir une nouvelle culture dans les meilleures conditions agronomiques. Cet état structural final dépend principalement de la forme et du type des outils aratoires utilisés pour sa réalisation (objectifs de l'agriculteur) et de l'état structural initial du sol qui est connu à travers ses propriétés physiques telles que la résistance pénétrométrique qui nous renseigne sur l'état de compaction du sol, la porosité ainsi que la teneur en eau. Les principaux facteurs influençant le choix des techniques culturales sont repris dans le tableau 6, ce tableau montre clairement que l'état initial du sol joue un rôle important sur la technique culturale à réaliser.

Tableau 6 : facteurs influant sur le choix des techniques culturales

ETUDE DES RESULTATS D'ESSAIS DE DIFFERENTES TECHNIQUES DE SEMIS DU BLE DUR (CHEN'S)

La consistance du sol	Décompacter	Déchaumer	Labourer	Reprendre un labour	Préparer le lit de semence	Semer
Dure	Possible mais difficile	Possible mais difficile	Possible mais difficile	Possible mais difficile	Possible mais difficile	Conseillé
Friable	Conseillé	Conseillé	Conseillé	Conseillé	Conseillé	Conseillé
Semi plastique	Risqué	Risqué	Conseillé	Risqué	Risqué	Risqué
Plastique	A proscrire	A proscrire	A proscrire	A proscrire	A proscrire	A proscrire

Source : Barthelemy (1994)

1.1. Le labour

Nous définissons le labour comme étant une opération de travail profond avec retournement du sol et mélange de ses horizons (figure 1). Nous considérons que les labours peuvent être compris entre 15 et 40 cm de profondeur, même si le labour traditionnel est réalisé le plus souvent entre 20 et 30 cm, avec une moyenne de 25 cm (Guerif, 1994). Le volume de terre travaillé par la charrue est appelé couche arable. Le labour avec une charrue à versoirs reste l'opération de base pour des systèmes conventionnels. Ses objectifs sont de répartir la fumure de fond et les amendements sur toute l'épaisseur de la couche arable, de contrôler les adventices et les repousses, d'enfouir les résidus de récolte, d'assurer un ameublissement de la couche arable et d'améliorer le ressuyage des terres humides ou drainées (Guerif, 1994). Il permet de détruire les cultures intermédiaires. Enfin, en remontant les couches profondes, il permet leur fissuration par le climat et leur fragmentation par les outils de travail superficiel. L'outil principal du labour est la charrue à versoirs. A noter que les labours réalisés ne sont pas toujours identiques : profondeur variable, présence ou non de rasette, réglages différents de cette dernière (Colbach *et al.*, 2000 ; Roger-Estrade *et al.*, 2001). Les labours les plus profonds sont réalisés avec des charrues à versoirs de conception plus lourde. Les labours les plus superficiels (proches de 15 cm de profondeur) sont réalisés à l'aide de charrues dites «déchaumeuses» à versoirs. Ces charrues ne permettent pas de travailler plus profond. En général, le labour ne laisse que très peu de résidus visibles en surface. On considère donc que le labour n'est pas une opération qui permet la conservation des sols. Il faut être prudent avec le terme labour "Ploughing ou Plowing" employé par les anglo-saxons qui englobe d'autres opérations que le labour avec une charrue à versoirs, comme le pseudo-labour avec des pulvérisateurs ou cultivateurs lourds.

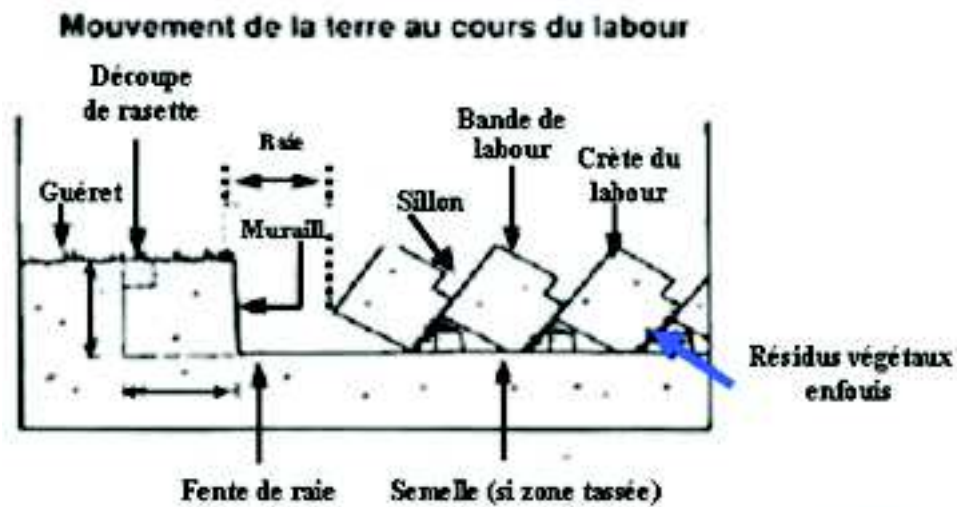


Figure 1 : Mouvement de la terre au cours du labour

Source : (Barthelemy . et al, 1992)

1.2. Le pseudo-labour

Nous définissons le pseudo-labour comme étant une opération de travail profond avec mélange des horizons mais sans retournement de ceux-ci. Le pseudo-labour affecte une épaisseur de couche arable équivalente à celle du labour. Elle est souvent comprise entre 20 et 30 cm de profondeur mais peut aller jusqu'à 40 cm. A long terme et à profondeur de travail identique, la dilution des matières organiques ou des éléments minéraux dans le sol est équivalente entre labour et pseudo-labour, même si l'on retrouve, après un pseudo-labour, plus de débris végétaux en surface, et quelques adventices non enfouies (Masse *et al.*, 2004). Le pseudo-labour peut remplacer le labour dans certains itinéraires techniques de préparation du sol, les objectifs poursuivis étant en gros les mêmes.

La gamme d'outils utilisés en pseudo-labour est variée (Barthelemy *et al.*, 1992). Les machines à bêcher, outils entraînés par la prise de force, travaillent jusqu'à 40 cm de profondeur. Elles ameublissent en profondeur et réalisent un mélange homogène entre la terre et les résidus, lorsque les conditions d'utilisation sont optimales. D'autres outils classiques de pseudo-labour, comme les charrues à disques, les cultivateurs lourds (chisels) et les pulvérisateurs lourds (disques), ameublissent entre 20 et 30 cm de profondeur. La charrue Express de PERREIN, de conception unique, effectue un mélange jusqu'à 25 cm de profondeur. La plupart des décompacteurs peuvent aussi être utilisés pour réaliser un pseudo-labour, en augmentant le nombre de lames par rapport à un usage classique de décompactage et, parfois, en les inversant 2 à 2. Les techniques de pseudo-labour, avec un taux de couverture du sol inférieur à 15 % après passage des outils, ne sont pas considérées comme des techniques de conservation des sols.

1.3. Le décompactage

Le décompactage correspond à un travail profond de toute la couche arable (jusqu'au fond de labour), sans retournement ni mélange. Le décompactage est, comme le labour, possible de 15 à 40 cm de profondeur. Cette opération restructure le sol par fissuration et fragmentation en le tranchant et, éventuellement, en le soulevant (utilisation de dents obliques) sans perturber la disposition des horizons. De nombreux agriculteurs parlent

d'ameublissement ou de fissuration pour décrire un décompactage. Le décompactage a pour objectif de fragmenter des zones compactes situées dans la couche arable (Larousse agricole, 2002). Il permet de supprimer les tassements dus aux passages des outils en mauvaises conditions, facilitant l'enracinement, notamment dans les sols repris en masse ou tassés et augmentant la capacité d'infiltration de l'eau. Ce travail profond précède, lorsque c'est nécessaire, les opérations de travail superficiel dans les itinéraires sans labour (Masse *et al.* 2004).

Le décompactage est réalisé à l'aide d'outils à lames droites ou obliques, équipées de différents types de socs. Ces outils appelés «décompacteurs» nécessitent, à profondeur de travail égale, moins d'effort de traction qu'une charrue à versoirs et permettent des vitesses de travail plus élevées, ce qui les rend très intéressants pour les préparations du sol sans labour (Larousse agricole, 2002). Le décompactage est souvent confondu avec une autre opération qui travaille en profondeur sans retournement ni mélange : le sous-solage. La différence principale est la profondeur à laquelle est effectuée cette dernière opération.

1.4. Le sous-solage

Le sous-solage est un travail profond, touchant le ou les horizon(s) situé(s) sous le fond de labour, sans retournement ni mélange des couches de terre. Il est généralement effectué à des profondeurs allant de 40 à 80 cm, plus importantes que dans le cas d'un décompactage. Le sous-solage est la seule opération de travail du sol qui soit plus profonde que les labours. Le sous-solage est destiné à faire éclater les couches profondes pour améliorer la porosité au-dessous du fond de labour. Effectué à l'aide d'une sous-soleuse (outil à dents droites équipées de socs ou d'obus), il facilite la pénétration des racines et le drainage de l'eau en excès. Il peut être aussi réalisé avec certains décompacteurs à dents droites. Il a parfois comme objectif de détruire les couches profondes dures et imperméables situées sous le fond de labour (dépôt induré ferrugineux, alios des Landes, semelle de labour, etc.). Le sous-solage vient parfois en complément d'une « *Pratique des TCSL 27* » drainage : il facilite des mouvements de l'eau à condition d'être pratiqué obliquement par rapport à la ligne de pente et à la direction générale des drains (Masse *et al.*, 2004). Le décompactage et le sous-solage ont le même objectif : améliorer la croissance en profondeur des racines et le drainage. Le sous-solage fissure le sous-sol alors que le décompactage est limité à la couche arable.

1.5. Le travail superficiel

Le travail superficiel du sol correspond à un travail compris entre 0 et 15 cm Il inclut un mélange des résidus de culture dans le volume travaillé, mais sans retournement. Les opérations de travail superficiel n'incluent pas l'utilisation de la charrue déchaumeuse à versoirs. En effet, cet outil réalise un travail superficiel, entre 10 et 15 cm de profondeur avec mélange et retournement du sol : il effectue donc un labour. Au fil des années et avec le développement des Techniques Culturelles Sans Labour, les objectifs agronomiques du travail du sol ont évolué. De nos jours, le travail superficiel sur 5-8 cm est de plus en plus souvent pratiqué. Il permet, comparé à un travail à 10-15 cm, de laisser plus de résidus en surface pour limiter le ruissellement, de permettre une meilleure levée des adventices (faux semis) et de créer des lits de semences moins grossiers. Un travail peu profond permet également de réduire les coûts et d'améliorer les débits de chantiers. Tout en étant conscients du côté un peu arbitraire du seuil retenu, ces exigences nous amèneront à distinguer deux profondeurs de travail superficiel : 8 et 15 cm. Il existe une grande diversité d'outils, animés ou non, utilisés pour le travail superficiel. Ces outils sont

plus ou moins adaptés à chacune des deux profondeurs mentionnées ci-dessus. En effet, beaucoup d'outils sont polyvalents, seul le réglage de la machine est adapté à la profondeur visée. De plus, on trouve sur le marché des outils combinés, qui présentent plusieurs sortes de pièces travaillantes, montées sur un même bâti, ce qui permet de réaliser plusieurs objectifs en un seul passage. Les différents types de dents ne travaillent pas forcément à la même profondeur. Ce type d'outil comporte généralement un rouleau qui complète l'action d'émiettement du sol et qui le nivelle. La description de l'outil utilisé ne permet donc pas toujours de définir le type d'opération pratiquée. Les objectifs du travail superficiel, atteints avec cette large gamme d'outils, sont très variés. Le travail superficiel a une action sur la vitesse de décomposition des pailles (à travers la réduction de la taille des débris végétaux et leur enfouissement dans la terre, ces deux actions accroissant la surface de contact sol/résidus). Il facilite le passage des semoirs en enfouissant les résidus. Il permet de lutter contre la prolifération des adventices, de certains ravageurs (destruction des habitats) et des pathogènes dont une partie du cycle a lieu sur des résidus non enfouis (cas du phoma par exemple, Schneider et al., 2006). Il agit sur la structure du sol en affinant le futur lit de semences afin d'obtenir des conditions favorables à la germination et à la levée des plantules. Le passage d'un outil de travail superficiel du sol peut combiner plusieurs objectifs. Les opérations de travail superficiel sont le plus souvent différenciées par rapport à leur ordre dans l'itinéraire technique et donc à leur objectif principal. Les outils peuvent aussi être classés selon l'opération pour laquelle ils sont les mieux appropriés. L'USDA estime que les opérations de travail superficiel, (excepté le mulchage), confèrent au sol un taux de couverture compris entre 15 et 30%, soit une quantité de résidus de 0,5 à 1 t/ha. Ainsi le travail superficiel ("Reduced-tillage") est un intermédiaire entre le travail du sol de conservation ("Conservation tillage") et le travail du sol conventionnel avec une charrue à versoirs ("Conventional tillage with mouldboard plow").

1.5.1. Le déchaumage

Le déchaumage est la première opération de travail superficiel du sol qui intervient peu après la récolte d'une culture. Il est réalisé habituellement en été. Le déchaumage, pratiqué avec différents outils (dents, disques, ...), peut être réalisé en un à plusieurs passages. Dans la majorité des cas, ce sont des outils non animés qui sont utilisés (déchaumeurs à disques ou chisels). Le déchaumage a une action favorable sur la décomposition des pailles et contribue à la lutte contre les adventices avec les faux semis. Un faux semis consiste à faire lever les mauvaises herbes et les graines de la culture précédente tombées au cours de la récolte en effectuant un travail superficiel d'affinement favorable à la germination des semences d'adventices et de repousses. Un second passage quelques semaines plus tard permet de détruire les plantules levées. Le nombre de passages varie en fonction de l'état de surface recherché, mais aussi de la stratégie de lutte contre les adventices et des conditions climatiques qui facilitent ou non les levées... Dans un itinéraire avec labour, le déchaumage facilite l'action d'enfouissement de la charrue (mélange de la paille à la terre) ainsi que l'émiettement du futur labour, en cas de déchaumage profond 8 à 15 cm. En itinéraire sans labour, le travail superficiel a, à la fois, le rôle de déchaumage et celui de préparation du sol avant le semis. Le mulchage correspond à un travail très superficiel, réalisé à l'aide d'un déchaumeur, qui conserve un taux de couverture du sol maximum. On parle de mulchage et non de déchaumage lorsque le taux de couverture du sol est supérieur à 30%. Cette technique entre alors dans le cadre du travail de conservation du sol (Veseth et Karow, 1999). Les végétaux en surface peuvent provenir de la culture précédente, de fumier ou du couvert végétal (Nyakata et al., 2000).

1.5.2. La reprise du labour

Cette pratique de travail superficiel est spécifique aux itinéraires avec labour. Après le passage de la charrue, en automne ou au printemps, on cherche à émietter le labour avant la préparation du lit de semences. A l'origine, on parlait de reprise de labour pour un passage de « canadien » (cultivateur léger) destiné à aplanir les labours. Ce passage d'outils permettait d'aérer les sols lourds et d'ameublir les labours pris en masse pendant l'hiver. Aujourd'hui, les labours ne sont pas systématiquement repris, étant pour la plupart relativement couchés et émiettés. La reprise est confondue avec la préparation du lit de semences qui s'effectue en 1 ou 2 passages. Les outils de reprise du sol sont variés. Même si l'on peut utiliser des outils à disques, la reprise du labour est généralement effectuée à l'aide d'outils non animés (cultivateurs lourds ou légers, outils à dents combinés). Les profondeurs de reprise de labour, très variables selon les objectifs recherchés, peuvent aller jusqu'à 15 cm.

1.5.3. La préparation du lit de semences

Le travail superficiel a ici pour fonction de niveler le sol et de créer un lit de semences favorable à la germination des semences et à la levée de la culture ; en général, la profondeur de travail n'excède pas ici les huit premiers centimètres. Réalisé peu avant le semis ou en combinaison, il peut être complété par un roulage. Il permet aussi d'enfouir les derniers résidus de culture encore en surface ainsi que les engrais de fond. Le nombre de passages dépend du choix des outils et du mode de semis (Masse *et al.*, 2004). Les outils animés (herse rotatives et alternatives, cultivateurs rotatifs) sont très utilisés pour les préparations de céréales à l'automne et les plantations de pommes de terre au printemps, alors que les outils non animés, combinés ou non, généralement à dents, dominent pour l'implantation des autres cultures de printemps. On rencontre néanmoins des préparations à la herse rotative pour l'orge de printemps. En itinéraire avec labour, la préparation du lit de semences vient parfois en complément de la reprise du labour, même s'il s'agit souvent de la même opération. Elle est le plus souvent réalisée avec un outil animé combiné au semoir (l'ensemble herse rotative - semoir), dans l'objectif de réduire les coûts d'implantation. En itinéraire sans labour, le déchaumage constitue parfois la seule opération de préparation du lit de semences. Les semoirs spéciaux à disques réalisent une préparation du lit de semences limitée à la ligne de semis par l'action des disques semeurs, ou pour toute la surface s'ils sont équipés d'un train de disques avant.

1.5.4. Le désherbage mécanique (binage)

Alors que le déchaumage a un rôle de contrôle des adventices avant l'implantation de la culture, certains outils permettent le désherbage pendant le cycle de la culture. Parmi ces outils, il y en a qui arrachent les adventices en faisant foisonner la terre en surface. Ils sont adaptés aux cultures à écartement réduit comme les céréales (herse étrille, houe rotative). Le binage proprement dit correspond à l'utilisation d'une bineuse, outils à dent qui détruit les adventices dans l'inter-rang des plantes sarclées (maïs, betteraves,...). Les dents sont équipées de socs dits « scarificateurs » ou patte d'oie. Les bineuses sont passées une à plusieurs fois de la levée à la maturité des cultures. Le désherbage mécanique est généralement pratiqué à une profondeur inférieure à 8 cm.

1.6. Travail en bandes

Le travail en bande « Strip tillage » est principalement pratiqué sur le continent américain. C'est une pratique où le sol n'est travaillé que sur des bandes de 10 à 15 cm de large à l'aide d'outils adaptés. D'après l'AAC (Agriculture and Agrifood Canada 2001), le travail en bandes se différencie du semis direct car le travail superficiel réalisé l'est sur une largeur plus importante que la simple ligne de semis. Dans la plupart des cas, il y a mélange des couches de terre, mais sans retournement, sur une profondeur n'excédant pas 15 cm (Thomas et Berthias, 2000). Il correspond alors à un travail superficiel en bandes. Plus rarement, le travail en bandes inclut un travail plus profond. Par exemple, une dent droite incurvée vers l'avant peut réaliser un travail de pseudo-labour ou de décompactage sur le rang travaillé. Le travail du sol par bandes est adapté aux plantes sarclées comme le maïs (écartement entre rangs important). Cette pratique permet ainsi de limiter au maximum le travail du sol, avec un inter-rang non travaillé moins sensible à l'érosion. Le maintien d'un travail sur le rang maintient des conditions de développement des plantes moins difficiles qu'en semis direct. En effet, il favorise le réchauffement et le ressuyage du sol en surface. Il peut offrir une sécurité par rapport à d'éventuels problèmes de tassement (Van Ouwerkerk et Perdok, 1995). Le travail en bandes revient donc à travailler le sol au minimum, lorsqu'on considère que le semis direct *sensu stricto* n'est pas faisable (qualités de levée, réchauffement du sol pour le maïs...). Le travail en bandes peut être effectué en combinaison au semis ou avant celui-ci. Par exemple, une dent droite incurvée vers l'avant peut travailler à 15 cm en combinaison avec deux disques qui créent une petite butte de terre. Des outils animés peuvent aussi être combinés au semoir. Cette combinaison d'un semoir à disques et d'un rota labour où les lames ne travaillent que devant les éléments semeurs permet d'obtenir des bandes travaillées d'environ 10 cm de profondeur sur 10 cm de large (Basch *et al.*, 1995). Pour caractériser les itinéraires comportant le travail en bandes, on rencontre les expressions «semis en bandes», «cultures en bandes» ou encore «semis sur bandes fraisées» (Sturny, 1993). En Europe, le travail en bandes a fréquemment été décrit comme étant du semis direct, notamment lorsque les semoirs mono-graines n'étaient pas adaptés au semis direct *sensu stricto* (Sturny, 1993).

1.7. Billonnage

Le billonnage ou culture sur billons «Ridge tillage» est une technique particulière réservée aux rotations avec des plantes sarclées (maïs, soja, ...) (AAC, 2001). Le billonnage est essentiellement rencontré sur le continent américain (USA, Brésil...). Son application en Europe et en Afrique du nord est la plus répandue en culture de pomme de terre où la création de la butte est annuelle et nécessite un travail de toute la surface. Le travail sans retournement du sol s'effectue sur une butte de 20 cm de haut, représentant 1/3 de la surface, entretenue chaque année par binage – buttage. Tous les engins, de récolte comme de travail du sol, passent toujours sur les mêmes traces, et les cultures occupent les mêmes buttes, qui ne sont donc jamais tassées. Le billon est dégagé pour le semis à l'aide de socs à ailes ouvertes, de disques rayonneurs, de coutres ou de sarcleuses. Les résidus restent à la surface, entre les rangées. La température plus élevée du sol sur la butte favorise la levée. Les billons sont ensuite reformés par un travail du sol (buteuse), ce qui permet de lutter contre les mauvaises herbes de façon mécanique et de réduire l'utilisation d'herbicides. Le billonnage, par un entretien régulier des buttes, empêche l'encroûtement du lit de semence. Il convient bien aux sols à texture fine, surtout lors des printemps froids et humides. Avec un taux de couverture supérieur à 30 %, le billonnage ("Ridge-til"), appartient au travail du sol de conservation "Conservation tillage".

2 Les itinéraires techniques de travail du sol

L'itinéraire technique se définit comme la «combinaison logique et ordonnée d'opérations culturales mises en œuvre pour la conduite d'une culture» (Sebillotte, 1974). Désignant en général l'ensemble des opérations culturales, on peut par extension appliquer ce terme aux seules opérations de travail du sol. La combinaison d'opérations de travail du sol, pratiquées à l'aide de divers outils, donne naissance à une multitude d'itinéraires techniques de travail du sol. Traditionnellement on oppose les itinéraires techniques avec labour aux itinéraires techniques sans labour (Robert *et al.*, 2004). La différenciation s'appuie sur les avantages et les inconvénients du retournement du sol par la charrue à versoirs. Cette classification est critiquée car peu représentative de la diversité des itinéraires techniques, diversité qui se traduit par l'emploi d'un grand nombre d'expressions parfois détournées de leur sens propre.

2.1. Classification des itinéraires par l'opération la plus profonde

Les Techniques Culturales Sans Labour (TCSL) ou Techniques Sans Labour (TSL) ne sont pas un itinéraire technique en soit, mais un ensemble de pratiques très diverses. Les TCSL définissent l'ensemble des itinéraires techniques de travail du sol sans retournement de ce dernier, qui peuvent inclure aussi bien une opération de pseudo-labour qu'une implantation en semis direct (Robert *et al.*, 2004). On rencontre d'autres termes équivalents comme «Techniques de non labour», «Travail du sol sans retournement», ... Au sein d'une exploitation qui pratique le non labour, on ne rencontre pas forcément systématiquement des TCSL il existe des systèmes de production qui pratiquent alternativement labour et TCSL : le labour est supprimé à chaque fois que la parcelle (pour diverses raisons telles qu'une infestation trop importante d'adventices, la présence de résidus en trop grande quantité ou infectés, une structure du sol dégradée) et le climat (excès d'eau pendant la période d'implantation par exemple) l'exigent. Cette pratique est alors souvent nommée non labour occasionnel ou simplification partielle du travail du sol (Soltner, 1998). Si l'on s'intéresse aux conséquences sur le sol, on peut opposer la simplification partielle du travail du sol à la simplification totale (Boisgontier *et al.*, 1994) où le labour est éliminé systématiquement de l'exploitation, pour toute la durée de la rotation. On décrit souvent un itinéraire technique de travail du sol par l'opération principale qui le caractérise. Par exemple, on emploie régulièrement le terme «labour» pour parler de l'itinéraire technique qui repose sur cette opération de retournement du sol. On observe la même chose pour le «travail superficiel», le «pseudo-labour» ... etc.

2.1.1. Labour

Les itinéraires avec labour englobent l'ensemble des itinéraires techniques dont le travail du sol profond comporte un mélange et un retournement des horizons à l'aide de la charrue à versoirs.

Les itinéraires techniques de travail du sol avec labour sont motivés par les effets du retournement du sol sur l'enfouissement des résidus de culture, le contrôle des ravageurs, des pathogènes et des adventices, et sur l'ameublissement du sol. Les itinéraires de travail du sol sont à l'heure actuelle encore le plus souvent basés sur l'usage de la charrue à versoirs, forcément associée à d'autres interventions culturales (car il est difficile de semer directement dans un sol labouré).

Citons pour exemple un itinéraire de travail du sol incluant le labour, avant le semis d'une orge de printemps (Destain, 1994 ; Masse *et al.*, 1994) :

- Moisson de la culture précédente.
- Déchaumage.
- Labour (25 cm en moyenne) avec une charrue à versoir.
- Reprise du labour (cultivateur lourd + rouleau).
- Combiné préparation du lit de semence - semis (herse rotative + semoir)

2.1.2. Travail superficiel avec travail profond sans retournement

Sont classés dans cette catégorie tous les itinéraires comportant un travail profond sans retournement. Comme pour le labour, il existe un effet d'ameublissement du sol en profondeur, mais sans retournement. L'itinéraire de travail du sol peut s'appuyer sur une opération de pseudo-labour, en remplacement du labour, qui sera suivie par un travail superficiel pour la préparation du lit de semences. Le volume de sol travaillé peut être plus important que pour le labour, comme c'est le cas des travaux profonds avec chisel (Debeake et Orlando, 1994). La pratique la plus courante de nos jours est d'utiliser le décompactage pour réaliser un travail profond. Ce travail est complété par un travail superficiel qui vise à créer un lit de semences. Néanmoins, la répétition des interventions en travail profond peut conduire à une dilution de la matière organique en profondeur.

2.1.3. Travail superficiel

De plus en plus d'itinéraires techniques en non labour ne comportent pas d'opérations de travail profond. Dans ce cas, les opérations de travail superficiel (à 8 ou 15 cm de profondeur) visent les fonctions de déchaumage, de faux semis et de préparation du lit de semence. Ces itinéraires intègrent les semis effectués avec les semoirs combinés qui travaillent toute la surface du sol, même si aucun travail du sol ne précède le passage de l'outil.

2.1.4. Semis direct

Le semis direct est une technique d'implantation des cultures qui repose sur un travail du sol localisé sur la ligne de semis, sans travail en profondeur. La semence est positionnée par les éléments semeurs dans un sol non travaillé. Le travail du sol, toujours localisé sur la ligne de semis, peut avoir une profondeur maximale allant de 2-3 à 10 cm. L'action mécanique indispensable au placement des semences est effectuée le plus souvent par des semoirs équipés de disques, plus rarement de socs ou de dents semeuses.

Il existe deux itinéraires intermédiaires au semis direct et au travail superficiel, où le travail est localisé: Le semis en bandes et le semis sur billon.

Le semis en bandes permet la préparation du sol en surface sur une bande et non seulement sur la ligne de semis. Cette technique est parfois considérée comme du semis direct.

Le semis sur billon, correspond également à une préparation de sol en bande, mais il est plus complexe et affecte tout l'itinéraire technique pour la formation et l'entretien de la butte.

2.2. Classification des itinéraires par leurs objectifs

On rencontre fréquemment dans la bibliographie des termes décrivant un itinéraire de travail du sol se basant sur un objectif ou, pire encore, sur un jugement de valeur. Par exemple, des mentions de travail « conventionnel », « simplifié » ou de « conservation des sols

» ne donnent pas une idée très précise de l'itinéraire technique effectivement pratiqué. Cela entraîne fréquemment des confusions. De plus, ces termes sont souvent liés à la culture d'un pays. Les itinéraires dits conventionnels ou simplifiés ne seront pas forcément identiques sur les continents européens africains ou américains. L'imprécision qui se cache derrière tous ces termes nous impose donc, lors d'une analyse bibliographique, d'affiner leur caractérisation par une description des différentes opérations réalisées sur la parcelle ou par l'observation des caractéristiques du sol obtenues.

2.2.1. Les systèmes « conventionnels »

Les systèmes conventionnels définissent les itinéraires techniques avec labour. Ils sont parfois appelés « travail du sol intensif » ou « travail du sol conventionnel avec une charrue à versoirs », pour faire référence à l'outil principal de travail du sol.

Sur le continent américain, et plus rarement en ailleurs, les systèmes conventionnels peuvent désigner des itinéraires sans labour. L'opération principale est alors un pseudo-labour, un décompactage voire même un travail superficiel. Ces itinéraires sont traditionnels des régions très sensibles aux risques d'érosion importants. L'USDA emploie pour ces itinéraires l'expression "Conventional tillage without mouldboard plowing" (ESR / USDA, 2005). On parle parfois de « systèmes traditionnels ». On préférera employer « systèmes conventionnels » qui font référence à l'itinéraire technique le plus couramment pratiqué et non « systèmes traditionnels » qui font référence à la tradition, terme quelque peu péjoratif.

2.2.2. TCS, Travail simplifié, Travail minimum

De nombreux termes se basent sur la notion de simplification du travail du sol. Cela peut sous entendre que le sol n'est plus labouré mais n'est pas très précis, notamment quand l'expression est utilisée dans différents pays aux pratiques de travail du sol très différentes. Nous rencontrons ainsi différents qualificatifs tels que «Travail simplifié», «Travail réduit», «Travail minimum». Les expressions TCS ou « Techniques Culturelles Simplifiées » sont très fréquemment utilisées en France. TCS connaît aussi des traductions diverses qui s'éloignent du sens premier (Techniques de Conservation du Sol, Techniques Compliquées de Semis). On peut assimiler les Techniques Culturelles Simplifiées aux Techniques Culturelles Sans Labour à condition que l'intensité du travail du sol soit significativement réduite par rapport aux systèmes avec labour. Sur le terrain, on oppose parfois les termes TCS et semis direct, ce qui sous-entendrait que les TCS incluent forcément un travail superficiel.

2.2.3. Le semis direct

Le semis 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 (Don Lobb, 2003). Au cours des trente dernières années, les pays développés ont commencé à concentrer leurs efforts sur la conservation du sol (figure 2) 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 (Bouzza, 1990). Selon (Bourarach et Mrabet, 2001), la réussite des semis directs dépend souvent d'une quantité de facteurs autres que la configuration des instruments. Il peut s'agir entre autres du drainage du sol et de la rotation des cultures qui influent grandement le rendement de tous les systèmes de semis direct. 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 d'autres termes, la couche arable superficielle n'est ni retournée, ni entraînée, ni cisailée et ni soulevée comme dans les cas des labours conventionnels. Cette simplification du travail se caractérise par une absence totale de l'action d'un outil aratoire. 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. Le 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 (PNTTA, 2001).

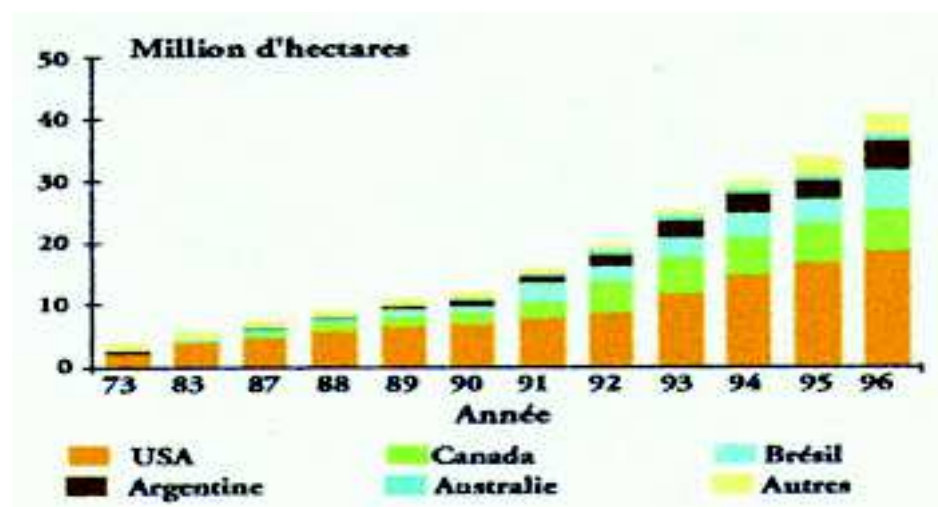


Figure 2 : Evolution dans le temps des superficies sous semis direct dans le monde.

Source : (PNTTA, 2001).

2.2.3.1. Avantages du semis direct

- Protection du sol contre l'érosion hydrique et éolienne grâce à la couverture de résidus ;
- Amélioration significative, de la structure et de l'activité biologique du sol, généralement à partir de la troisième année ;
- Diminution de la compaction grâce à la circulation réduite et d'une meilleure capacité portante des sols ;
- Réduction des coûts d'achat, d'opération et d'entretien de machinerie ;
- Economie du temps au printemps et à l'automne et, donc, réduction des frais de main-d'œuvre ;
- Demande réduite en engrais.

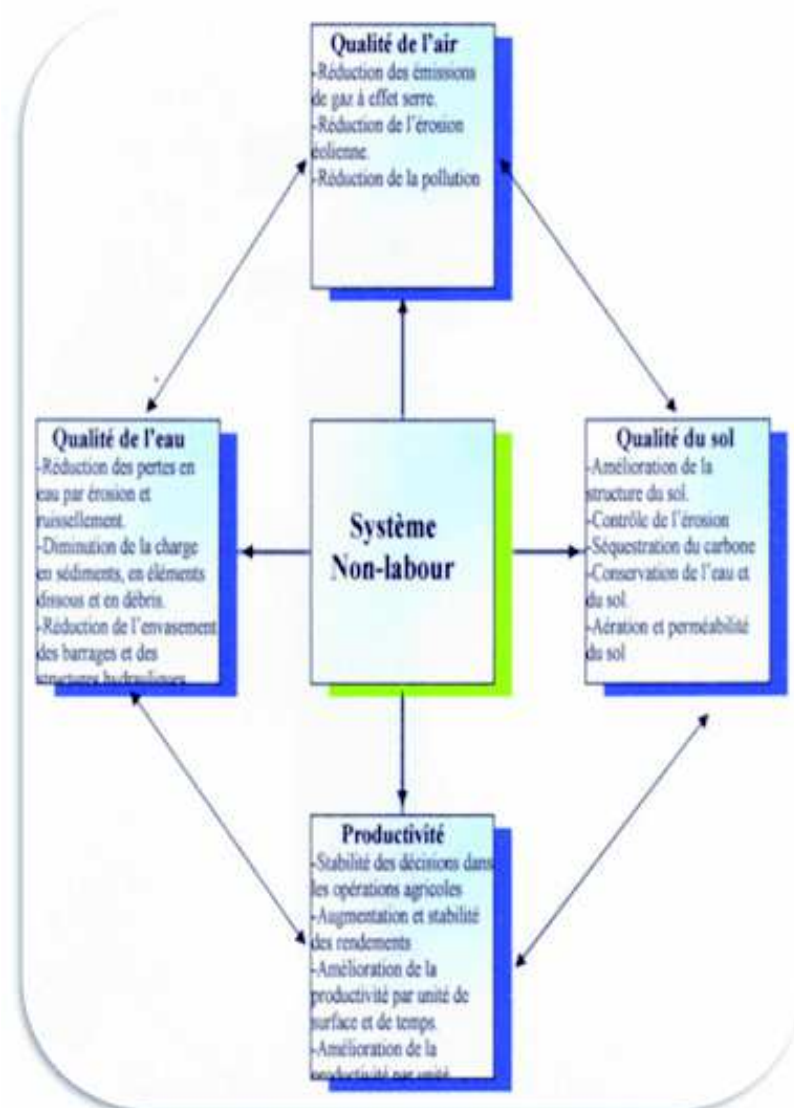


Figure 3 : Relation entre système non-labour et composantes de l'environnement et la production

Source : (Bourarach et Mrabet, 2001)

Le tableau 07 et la figure 03 résume les avantages de la technique du semis direct et des technique de conservations du sol ainsi que la relation entre le système non-labour, composantes de l'environnement et la production

Tableau 7. Les avantages de la technique du semis direct (TCS)

Lutte contre les ravageurs et les maladies	Les TCS ont des effets variables sur les maladies en culture céréalière : -Favorisent certaines maladies (Fusariose et Rhizoctone) -Diminuent certaines maladies (Jaunisse nanisante, vers) -N'ont aucun effets sur certaines maladies.
Lutte contre les adventices	-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	-Augmente la teneur en matière organique en surface (effet positif sur la battance de surface et la portance du sol ou bout de 3 à 4 ans). -Diminue les charges de mécanisation. -Accélère l'implantation 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	-Evite la destruction des lombrics et favorise le développement des diptères. -Augmente l'infiltration et la vitesse de dégradation des produits phytosanitaires
Economie	-Gain de temps (jusqu'à 50%) -Réduit les consommations de carburant (économie d'énergie).

2.2.3.2. Inconvénients du semis 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 ;
- Réchauffement et assèchement plus lent du sol. Cependant une fois les rangs dégagés par l'action des tasses-résidus du semoir, cet inconvénient n'existe plus pour la bonde semée.





Travail du sol par bandes	Les planteurs et les semoirs dotés d'un ou de plusieurs coutres par rangée de semis et parfois de sarclieuses pour préparer des bandes étroites de sol qui facilitent le contact semence-sol. Le travail du sol par bandes peut être adapté à de nombreuses conditions, peu importe la culture.	
Semis en sillons	Un sillon est creusé dans le sol non labouré et les semences y sont déposées à une profondeur opportune. Plusieurs combinaisons d'accessoires de tassement des semences et roues plombeuses servent à remplir le sillon afin d'assurer un bon contact semence-sol. Il s'agit du semis direct dans sa forme la plus pure, il est idéal pour le soya, le blé et d'autres céréales dans de nombreux types de sols. Le semis en sillons n'est pas très efficace dans les résidus de cultures abondants et dans les sols humides à texture fine.	
Travail préliminaire du sol	Une étroite bande de sol est labourée à l'aide de divers accessoires. Ce processus aide les résidus à s'amollir et à se décomposer pendant l'hiver et accélère l'assèchement au printemps. Les sols sont donc prêts pour le semis plus tôt au printemps. Les bandes labourées d'avance font accélérer la germination et la levée et facilitent la rotation des céréales. Un passage supplémentaire dans le champ est nécessaire, mais pour certains agriculteurs, cela vaut la peine.	
Billonnage	A l'aide de socs à ailes ouvertes, de disques rayonneurs, de coutres ou de sarclieuses, le billon est dégagé pour le semis. Les résidus restent à la surface, entre les rangées. La température plus élevée du sol aide les semis des billons à sortir du sol plus tôt. Les billons sont reformés par le travail du sol, ce qui permet de lutter contre les mauvaises herbes de façon mécanique et de réduire l'utilisation d'herbicides. Le billonnage exige une limite de la circulation et empêche l'encroûtement du lit de semence. Il convient bien aux sols à texture fine, surtout lors des printemps froids et humides.	

Tableau 8. Types de semis direct

Source : (Don Lobb, 2003)

Le tableau précédent décrit les différents types de semis direct.

3 Effets du semis direct sur les composantes du milieu cultivé

Un certain nombre de freins agronomiques et environnementaux empêchent l'essor de la technique du semis direct, à la base des SCV. Pourtant, la réduction du travail du sol diminue la consommation d'énergie et accroît la séquestration du carbone (Holland, 2004), sans nuire nécessairement au rendement de la culture de vente (Rasmussen, 1999). Smith (2004) rapporte que la technique du semis direct en Europe peut permettre de séquestrer plus de carbone que la technique du labour (jusqu'à 0,38 t C ha⁻¹ an⁻¹ de plus en semis direct). En l'absence de travail du sol, la présence de résidus à la surface du sol freine le ruissellement et permet de réduire efficacement les risques d'érosion (Basic *et al.*, 2004). Le semis direct participe aussi à l'amélioration de certaines caractéristiques de la qualité du sol, à savoir «*sa capacité à fonctionner dans un écosystème particulier pour produire de la biomasse, maintenir la qualité de l'air et de l'eau et assurer la santé*

des plantes et des animaux » (SSSA, 2006). Cette définition souligne l'importance de la qualité du sol qui conditionne la production agricole (Rezaei *et al.*, 2005) mais également d'autres fonctions comme l'habitat des espèces telluriques ou le transfert de l'eau et des solutés. La synthèse bibliographique ci-dessous, qui s'appuie lorsque c'est possible sur des synthèses antérieures (en particulier sur les thèmes déjà largement présents dans la littérature internationale), présente les impacts, favorables ou défavorables, de la technique du semis direct sur les composantes biologique, chimique et physique d' milieu cultivé.

3.1. Effets du semis direct sur les composantes biologiques

3.1.1. Les organismes du sol

Les microorganismes du sol sont la microflore (les bactéries, les champignons) et la microfaune telluriques (les nématodes, les protozoaires). Les populations de la microflore du sol sont fortement perturbées par l'abandon du labour au profit du semis direct (Doran, 1980). Les modifications des conditions climatiques en semis direct, des écarts de température plus faibles et des teneurs en eau plus élevées (Kladivko, 2001), sont favorables à une augmentation de l'activité et de la biomasse microbiennes dans les premiers centimètres de sol (Roper & Gupta, 1995). Cette augmentation s'observe pour les populations bactériennes comme pour les populations fongiques (Wardle, 1995). Cependant, en semis direct, les champignons sont dominants dans les cinq premiers centimètres de sol alors qu'en situation labourée, cette zone est dominée par les bactéries (Frey *et al.*, 1999). La colonisation racinaire par les mycorhizes est plus élevée en sol non travaillé qu'en sol labouré (Anken *et al.*, 2004). Comme peu d'études comparent la biomasse de la microfaune en semis direct et en travail conventionnel, une généralisation des effets du semis direct sur ces populations est hasardeuse (Wardle, 1995). Dans un article de synthèse, (Kladivko 2001) rapporte une grande variabilité de réponse de la microfaune au travail du sol ; par exemple, les populations de nématodes peuvent être favorisées ou inhibées après un labour (Wardle, 1995). Cette variabilité s'explique par la dépendance de la microfaune vis-à-vis de nombreuses caractéristiques du milieu cultivé dépendant du travail du sol. Par exemple, le développement de la microfaune est associé aux conditions physiques du sol qui régissent sa motilité (la taille des pores, la présence d'un film d'eau liquide sur la paroi de ces derniers) et aux micro-organismes qui s'en nourrissent. Les effets du travail du sol sur les macros organismes animaux ont été étudiés principalement sur les annélides ou vers de terre pour leurs rôles essentiels dans l'agro système (Kladivko, 2001). La quantité de vers de terre augmente fortement dans un sol non travaillé par rapport à un sol travaillé conventionnellement (Anken *et al.*, 2004). Cette augmentation s'explique par des conditions climatiques plus favorables, par l'absence de dommages occasionnés aux vers de terre par la charrue et par la présence d'une litière en surface (Shuster & Edwards, 2003). L'écart entre les situations culturales est d'autant plus grand que l'ancienneté du système sans travail du sol est importante (Edwards & Lofty, 1982). Les espèces anéciques sont les plus affectées par le travail du sol : leurs populations croissent considérablement après l'abandon du labour (Kladivko, 2001). La réduction du travail du sol est souvent bénéfique aux autres micro-organismes tels que les microarthropodes, les insectes supérieurs, les myriapodes (El Titi, 2003b).

3.1.2. Les ennemis des cultures

Les modifications des populations des organismes du sol par la technique du semis direct concernent aussi les ennemis des cultures dont la difficile gestion constitue un frein

important au développement de cette technique en climat tempéré. En semis direct, les dégâts causés par les limaces sur diverses espèces cultivées s'accroissent (Andersen, 1999), même dans des régions du monde où elles étaient inconnues comme ravageurs (Glen & Symondson, 2003). Ceci amène les agriculteurs à utiliser des molluscicides. Le semis direct favorise le développement des graminées annuelles et des adventices vivaces (Murphy *et al.*, 2006), même si ce développement dépend plus des conditions pédoclimatiques et de la succession culturale que du travail du sol (El Titi, 2003c). La plus grande prolifération des adventices en semis direct peut accroître les charges opérationnelles liées aux herbicides (El Titi, 2003c).

3.2. Effets du semis direct sur les composantes chimique

3.2.1. Les matières organiques mortes

Une des raisons qui explique les changements de la composante biologique dans un système de culture sans travail du sol est la présence de ressources nutritionnelles différentes en quantité et en qualité par rapport à un système de culture avec travail du sol. Comparé à un sol labouré, les teneurs en azote et carbone organiques augmentent en semis direct, dans les cinq à dix premiers centimètres de sol (Pekrun *et al.*, 2003). Dans leur synthèse bibliographique, ces derniers auteurs rapportent que dans certaines situations, l'accumulation de matières organiques en surface s'accompagne de leur diminution en profondeur (voir par exemple, McCarty *et al.*, 1998). Cette stratification des matières organiques résulte principalement du maintien d'une quantité élevée de résidus en surface d'un sol non travaillé (Tebrügge & Düring, 1999). La quantité d'azote labile dans les matières organiques augmente en semis direct (Doran, 1980). (Balesdent *et al.*, 2000) mettent en évidence une importante réduction de la vitesse de minéralisation du carbone organique en semis direct par rapport à un sol travaillé. Pour (Pekrun *et al.* 2003), c'est plus la dynamique de minéralisation des composés organiques qui est modifiée en semis direct. Par exemple, le pic de minéralisation concomitant au travail du sol n'existe plus ; la composition des microorganismes décomposeurs, dominés par les champignons, favorise l'immobilisation de l'azote au détriment de sa minéralisation (Carter & Rennie, 1987). Malgré tout, la quantité élevée de matières organiques permet de conserver une minéralisation importante en semis direct (Pekrun *et al.*, 2003).

3.2.2. Les éléments minéraux

Le non retournement du sol en semis direct conduit à un enrichissement en éléments minéraux des premiers centimètres de sol par rapport à une situation avec labour (Edwards *et al.*, 1992). D'un autre côté, en semis direct, les quantités d'éléments minéraux peuvent être réduites en profondeur, notamment le phosphore et le potassium (Pekrun *et al.*, 2003). L'émission de protoxyde d'azote est favorisée dans un sol non travaillé (Liu *et al.*, 2006). D'autre part, si des études rapportent que le lessivage des nitrates peut être réduit lorsque le sol n'est plus travaillé (Halvorson *et al.*, 2001), d'autres études concluent qu'il peut être accentué (Catt *et al.*, 2000) ou non modifié (McConkey *et al.*, 2002). La même variabilité s'observe pour le transfert des herbicides en profondeur : en semis direct, les pertes d'herbicides peuvent être réduites (Tebrügge & Düring, 1999) ou augmentées (Holland, 2004) par rapport à un sol travaillé. En fait, ces contradictions sur le comportement des polluants s'expliquent par le fait que l'absence de travail du sol joue sur des phénomènes qui réduisent le risque de pollution. (L'augmentation de la quantité de matières organiques en semis direct accroît l'adsorption de la plupart des pesticides) et sur d'autres qui l'accroissent

(les écoulements préférentiels peuvent augmenter en semis direct). La balance entre les deux dépend étroitement des conditions expérimentales telles que le type de sol, la topographie ou le régime des précipitations (Barriuso *et al.*, 1994).

3.3. Effets du semis direct sur les composantes physique

En modifiant la structure du sol, le semis direct affecte la qualité du sol (Dexter, 1997), particulièrement la circulation de l'air et de l'eau, la pénétration des racines dans le sol et l'accessibilité des nutriments aux végétaux.

3.3.1. Structure et propriétés hydriques d'un sol non travaillé

La stabilité des agrégats est corrélée à la quantité de carbone organique présent dans le sol (Stengel *et al.*, 1984). Comme cette quantité augmente sensiblement en semis direct, les agrégats sont plus stables dans cette situation culturale (Sasal *et al.*, 2006). Si la stabilité des agrégats est accrue en semis direct, l'absence de travail du sol conduit, en revanche, à une diminution de la porosité de l'horizon de surface par rapport à un sol travaillé conventionnellement ; de nombreuses études réalisées dans des conditions pédoclimatiques variées concluent à une augmentation de la densité apparente en semis direct, dans les cinq à dix premiers centimètres de sol (Basic *et al.*, 2004). Généralement, une conséquence de la compaction du sol en semis direct est la pénétration plus difficile des racines dans le sol (Ferrerias *et al.*, 2000). (Tebrügge & Düring 1999) montrent que l'écart de densité apparente entre un sol labouré et un sol non travaillé est maximal après le passage de la charrue ; l'écart décroît au cours de la saison de culture.

Dans les premiers centimètres de sol, la distribution de la taille des pores est modifiée en l'absence de travail du sol. La mésoporosité¹ et/ou la macroporosité diminuent dans un sol en semis direct par rapport à un sol labouré (Ferrerias *et al.*, 2000) ; l'écart entre les deux situations culturales est particulièrement marqué après le travail du sol (Pierce *et al.*, 1994). De manière analogue, (Guérif 1994) montre qu'en semis direct, les pores structuraux sont moins nombreux, situés en surface et plus continus. Une meilleure continuité des pores en semis direct est aussi observée par (Azooz & Arshad 1996). Concernant la microporosité, des études rapportent qu'elle est plus élevée en l'absence de travail du sol (Bhattacharyya *et al.*, 2006). Après l'arrêt du labour, la proportion de pores créés par l'activité biologique, les biopores longs et cylindriques, diminue fortement puis augmente au cours du temps (Vand en Bygaart *et al.*, 1999). Le réseau poral qu'ils définissent présente souvent une continuité élevée (Blevins *et al.*, 1983) ; ces pores participent activement à la pénétration des racines et aux mouvements de l'eau dans le sol (Dexter, 1991). Du volume et de la morphologie de l'espace poral dépendent les propriétés hydriques du solle stockage et la circulation de l'eau (Pachepsky & Rawls, 2003). De nombreuses études s'accordent pour montrer qu'un sol non travaillé retient plus d'eau (Dao, 1993 ; Arshad *et al.*, 1999 ; Ferrerias *et al.*, 2000 ; Baumhardt & Jones, 2002 ; Bhattacharyya *et al.*, 2006) du fait de la modification de l'espace poral mais aussi du fait de la présence des résidus en surface qui réduisent l'évaporation (Guérif, 1994). En revanche, il n'existe pas de consensus concernant les effets du semis direct sur la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol. Comparé à un sol travaillé, la vitesse d'infiltration de l'eau dans un sol en semis direct peut être augmentée (Arshad *et al.*, 1999), similaire (Blanco-Canqui *et al.*, 2004 ; Fuentes *et al.*, 2004) ou diminuée (Lampurlanés & Cantero-Martínez, 2006). En fait, cette variabilité s'explique par les différences d'évolution du réseau poral au cours du temps entre un sol labouré et un sol en semis direct. Des macropores sont créés juste après le labour ce qui améliore temporairement la vitesse d'infiltration de l'eau (Coquet *et al.*, 2005) mais l'action mécanique de la charrue peut détruire

la continuité des biopores formés pendant le cycle cultural précédent (Logsdon *et al.*, 1993). A l'inverse, la réduction du nombre de méso- et macropores du sol après l'abandon du labour est contrebalancée par un accroissement de la quantité des biopores lors de la pratique à long terme de la technique du semis direct (Rasmussen, 1999). De plus, l'augmentation de la quantité de matières organiques dans les premiers centimètres d'un sol non travaillé faciliterait l'infiltration de l'eau (Findeling *et al.*, 2003)

3.3.2. Agents structurants en semis direct

La structure d'un sol évolue continuellement, alternant les phases de formation, de stabilisation et de dégradation. La formation de la structure du sol résulte principalement de perturbations physiques d'origine anthropique ou climatique (El Titi, 2003a). Les pores créés par :

1. La micro-, méso- et macroporosité représentent les pores dont le rayon équivalent est, respectivement, inférieur à cinq micromètres, compris entre cinq et 500 micromètres et supérieur à 500 micromètres (Luxmoore, 1981).
2. La porosité hydrauliquement active est constituée par une fraction des méso- et macropores du sol.

Ces perturbations sont généralement allongées ; ce sont les fissures. L'activité biologique des organismes du sol participe aussi à la formation de la structure mais joue surtout un rôle majeur dans sa stabilisation (Young *et al.*, 1998). La dégradation de la structure résulte quant à elle de l'action de l'homme ou du climat (Young *et al.*, 1998). Selon les systèmes de culture, les diverses activités impliquées dans l'évolution de la structure du sol n'interviennent pas avec la même importance, la même intensité et le même pas de temps.

3.4. Rôle de l'activité anthropique dans l'évolution de la structure du sol en semis direct

Les apports d'éléments minéraux et/ou organiques par le chaulage ou les épandages divers de fertilisants, de fumiers, de lisiers, etc. améliorent l'agrégation (Haynes & Naidu, 1998). Les apports, minéraux et organiques, peuvent aussi favoriser l'activité des organismes vivants capables d'actions chimique et/ou physique sur la structure (Oades, 1993). Le choix de la culture commerciale, de la gestion de la période d'interculturel (l'implantation d'une culture intermédiaire) ou de la présence d'un couvert végétal pérenne participent à l'évolution de la structure du sol par le système racinaire des plantes. Le passage d'engins agricoles dégrade la structure : il entraîne un tassement localisé qui est fonction de la pression exercée, du temps d'application, de l'humidité du sol et de l'état de compacité initial (Richard *et al.*, 1999).

3.5. Rôle de l'activité climatique dans l'évolution de la structure du sol en semis direct

Les phénomènes climatiques tels que les alternances des cycles humectation, dessiccation ou gel, dégel fragmentent le sol (Oades, 1993) ; les caractéristiques du réseau de fissures qui en résulte dépendent de l'interaction entre le microclimat du sol (température, humidité) et sa composition granulométrique et minéralogique (Hallaire, 1988). La structure à la surface de certains sols (les sols limoneux) peut se dégrader sous l'action des pluies. De ce phénomène résulte la formation d'une croûte superficielle ou croûte de battance (Valentin & Bresson, 1992), plus ou moins imperméable aux transferts d'eau. Le taux de couverture du sol par les plantes peut ralentir les gouttes de pluie en les interceptant et peut diminuer

ainsi leur impact négatif sur le sol (Le Bissonnais, 1988). La présence d'un couvert végétal permanent, mort ou vivant, peut réduire les effets néfastes des gouttes de pluie sur le sol.

3.6. Rôle de l'activité biologique dans l'évolution de la structure du sol en semis direct

Les microorganismes : essentiellement la microflore, décomposent les matières organiques du sol ce qui favorise la formation d'agrégats stables par la sécrétion de polysaccharides extracellulaires (Roper & Gupta, 1995). Ces molécules lient durablement les particules primaires du sol entre elles (Doriz et al., 1993 ; Oades, 1993). Les hyphes fongiques peuvent aussi former un véritable réseau de liens capables de maintenir mécaniquement les agrégats entre eux (Oades, 1993) ; l'agrégation tend à augmenter avec la densité des hyphes (Haynes & Beare, 1997). Certains auteurs suggèrent que l'augmentation de la formation d'agrégats stables en semis direct est directement liée à l'accroissement des populations de microorganismes du sol dans cette situation culturale (Roper & Gupta, 1995).

Les vers de terre : Les micro-organismes animaux qui participent à l'évolution de la structure du sol se classent dans le groupe fonctionnel des «*ingénieurs de l'écosystème*», essentiellement représentés par les vers de terre dans les régions tempérées (Lavelle, 1997). Les vers de terre épigés participent peu à la formation et à la stabilisation de la structure contrairement aux vers de terre anéciques et endogés (Lee & Foster, 1991). Les vers de terre anéciques développent un réseau de galeries subhorizontales et subverticales (Lavelle, 1997). Pour les vers de terre endogés, géophages, les galeries sont pour la plupart subhorizontales, remplies de turricules (Lavelle, 1997), avec parfois des composantes verticales ouvertes vers la surface (Kay, 1990). Les vers de terre se retrouvent essentiellement dans les 20 premiers centimètres de sol mais certains descendent jusqu'à 50 centimètres de profondeur (Lavelle, 1997). Certains auteurs montrent que la création des galeries peut s'accompagner d'une légère compaction du sol dans la drilosphère, compaction née de la pression exercée par les animaux lorsqu'ils creusent (McKenzie & Dexter, 1988a ; McKenzie & Dexter, 1988b). Le diamètre des galeries varie avec la taille du ver de terre (Lavelle, 1997). Généralement elles mesurent de un à dix millimètres de diamètre (certaines atteignent 30 millimètres), constituant ainsi les pores les plus larges du sol (Lavelle, 1997) qui participent efficacement à l'aération du sol et au transport de l'eau et des solutés (Fragoso *et al.*, 1997). Les vers de terre sont aussi capables d'enfouir les résidus végétaux et de les fractionner en unités plus petites qui peuvent être décomposées par les microorganismes (Roper & Gupta, 1995). De plus, lors de leurs déplacements, les vers de terre géophages ingèrent des particules de sol qu'ils mélangent dans leur intestin avec des résidus organiques comme les polysaccharides ; les turricules excrétés sont des agrégats stables (Six *et al.*, 2004). Comparé à un sol travaillé, l'augmentation des populations de vers de terre constatée en semis direct peut effectivement s'accompagner d'une augmentation du nombre de biopores (Tan *et al.*, 2002) et de la quantité de turricules dans l'horizon superficiel (VandenBygaart *et al.*, 1999).

Les racines : Les végétaux supérieurs agissent sur la structure par l'action de leurs racines et par l'apport de matières organiques au sol, sources de carbone pour les microorganismes (Angers & Caron, 1998). Au cours du développement racinaire, un biopore est produit lorsqu'une racine pénètre soit dans un milieu sans macrostructure préexistante (Dexter, 1991), soit dans un pore originel plus petit que le diamètre de la racine (Kay, 1990). Au voisinage de ce biopore la porosité diminue du fait de la pression exercée par la racine en expansion (Dexter, 1991). Après décomposition de la racine et comme le sol n'est pas perturbé, le biopore demeure et participe à la fois aux transferts d'eau et de solutés, à

l'aération du sol et au développement des racines de la culture suivante (Oades, 1993). Le prélèvement d'eau par les racines dessèche le sol à proximité ce qui crée des zones de fissuration par l'alternance des cycles humectation, dessiccation (Angers & Caron, 1998). Comme les hyphes fongiques, les racines lient les agrégats entre eux (Young *et al.*, 1998). Les exsudats racinaires constituent un ciment qui stabilise les agrégats (Angers & Caron, 1998) : les agrégats les plus stables sont dans la rhizosphère (Bronick & Lal, 2005). La forme du système racinaire varie en fonction du milieu et des espèces végétales. Par exemple, chez les monocotylédones il est souvent fasciculé alors que chez les dicotylédones il s'organise autour d'une racine pivot (Russell, 1977). Ces diverses architectures racinaires entraînent des variations dans la capacité des racines à pénétrer dans les pores et les agrégats pour explorer un volume de sol à la recherche d'eau et de nutriments (Bronick & Lal, 2005). Ainsi, l'agrégation tend à augmenter avec la longueur spécifique la longueur de racine par unité de biomasse racinaire (Bronick & Lal, 2005). De plus, les plantes n'ont pas toutes la même capacité à produire des exsudats ou à interagir avec les organismes du sol ce qui modifie leurs effets sur la stabilisation des agrégats (Bronick & Lal, 2005). Par exemple, la quantité d'exsudats produite par les racines du maïs (*Zea mays* L.) est inférieure à celle produite par le blé (*Triticum aestivum* L.) (Hütsch *et al.*, 2002) ; les exsudats du lupin (*Lupinus augustifolius* cv. Feste) stimulent plus la croissance des champignons que ceux du blé (Haynes & Beare, 1997). L'activité structurante des racines dépend de l'espèce présente sur la parcelle agricole.

Dans un sol viticole, Pagliai & Denobili (1993) mettent en évidence une relation entre le développement racinaire et la présence de pores de petite taille plus nombreux en semis direct. D'un autre côté, l'augmentation de la densité apparente dans les premiers centimètres d'un sol non travaillé peut réduire le développement des racines en surface (Rasmussen, 1999).

Le tableau 09 est une comparaison entre trois modalités de semis, distinguées entre elles par le retournement ou pas de la couche arable du sol.

Tableau 9. Comparaison entre le labour conventionnel, le travail simplifié et le semis direct

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

Source : (Bourarach et Mrabet, 2001)

Conclusion

Les travaux de recherche indépendants réalisés dans l'Union Européenne, aux Etats-Unis, au Canada et dans d'autres pays de l'Afrique du nord 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 destinée 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 hydrique et éolienne, 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 (PNTTA, 2001).

Chapitre III : Impacte des techniques chlturales sans labour

Introduction

Le sol, défini comme la couche supérieure de la croûte terrestre, est une ressource essentielle constituée de particules minérales, de matières organiques, d'eau, d'air et d'organismes vivants. C'est un milieu extrêmement complexe, à l'interface entre la terre (géosphère), l'air (atmosphère) et l'eau (hydrosphère). C'est également un milieu extrêmement variable dans l'espace : il existe plus de 320 types de sol définis en Europe.

Le sol remplit une multitude de fonctions environnementales, économiques, sociales et culturelles essentielles à la vie (CCE, 2002) :

- Production d'aliments et de biomasse: les prairies, les cultures et les arbres ont besoin du sol pour leur approvisionnement en eau et en éléments nutritifs et pour fixer leurs racines.
- Stockage, filtration et transformation : l'assemblage des constituants organiques et minéraux du sol lui confère un large éventail de propriétés physiques, chimiques et biologiques le rendant apte à stocker, filtrer et transformer l'eau, les minéraux, les gaz, mais également une multitude de substances chimiques et organiques. Le sol est un maillon essentiel du cycle de nombreux éléments (eau, carbone, azote etc.) et fonctionne comme un filtre naturel, notamment pour les eaux souterraines.
- Habitat et pool génétique : le sol est l'habitat d'une quantité et d'une variété immense d'organismes vivant dans et sur le sol, possédant tous des caractéristiques génétiques uniques. Il s'agit donc d'un biotope qui remplit des fonctions écologiques essentielles.
- Environnement physique et culturel pour l'homme : le sol est la plate-forme de l'activité humaine ainsi qu'un élément du paysage et du patrimoine culturel.
- Source de matières premières : le sol fournit certaines matières premières comme l'argile, le sable ou la tourbe.

Parmi ces fonctions, les trois premières sont celles qui sont directement affectées par l'activité agricole et donc susceptibles d'être modifiées par les TCSL. Par ailleurs, ces trois fonctions sont très interdépendantes : la fonction de transformation par exemple dépend étroitement de l'activité biologique du sol (fonction habitat), qui contribue à assurer la structure et la fertilité du sol (fonction production).

Le sol est essentiellement une ressource non renouvelable car les processus de formation sont extrêmement lents alors que les processus de dégradation peuvent être très rapides. Lorsque le sol est dégradé, sa capacité à remplir ses fonctions est réduite. Or le sol est sous la menace croissante d'une vaste gamme d'activités humaines qui réduisent sa disponibilité et sa viabilité. Actuellement, il est estimé que 16% des sols sont touchés par des processus de dégradation dans l'UE (CCE, 2002).

Etudier l'impact des TCSL sur la préservation des sols et de la biodiversité revient à aborder plusieurs questions :

- En quoi les TCSL modifient-elles le fonctionnement du sol?
- Quel est l'impact de ces modifications sur la qualité du sol?
- Quel est l'impact de ces modifications sur les fonctions du sol ?
- Comment juger ces changements de qualité et de fonction des sols par rapport à l'objectif de préservation des sols et de la biodiversité?

Les principales menaces pesant sur les sols, identifiées dans le cadre de la stratégie thématique pour la protection des sols menée par la Commission des Communautés Européennes (CCE, 2002) sont :

- La diminution des teneurs en matière organique
- La contamination des sols
- L'imperméabilisation des sols
- Le tassement du sol
- La diminution de la biodiversité du sol
- La salinisation
- Les inondations et glissements de terrain.

1. Les TCSL et l'érosion

1.1. Caractérisation de la menace

L'érosion est un phénomène naturel résultant de l'élimination des particules de sol transportées par l'eau qui ruisselle ou le vent, et qui peut être aggravé par les activités humaines. L'érosion est influencée par différents facteurs comme la texture du sol, le climat, les successions de culture, les outils utilisés, la saison, la pente et la taille des parcelles. L'érosion conduit à une diminution de l'épaisseur du sol en place et à une altération de ses fonctions, et à terme à la disparition du sol lui-même. Elle peut également avoir des impacts négatifs en dehors de l'espace agricole ou forestier : inondations, coulées de boues, pollutions.

1.2. Impact des TCSL sur l'érosion

Des études montrent que les TCSL pouvaient être très efficaces pour réduire l'érosion, avec toutefois une variabilité très importante des résultats. Ainsi, en comparaison avec le labour, l'érosion est réduite dans 83% des cas avec un pseudo-labour, dans 90% des cas pour le travail superficiel et dans 85% des cas pour le semis direct.

En l'absence de retournement du sol, plusieurs facteurs jouent un rôle majeur sur la limitation de l'érosion :

- La couverture du sol : L'ensemble des études montre que la présence d'un couvert végétal significatif en surface est un facteur majeur de réduction des risques

d'érosion. Cette couverture du sol peut être constituée par les résidus de la culture précédente qui ne sont plus enfouis par un labour ou bien par une plante de couverture semée pendant l'inter culture. Cette couverture du sol permet une réduction de l'érosion d'un facteur 1 à 10 (Heddadj et al, (2005). Pour que cette couverture du sol soit efficace, les auteurs considèrent qu'il faut dépasser un taux de couverture seuil de 25 à 40% de la surface du sol (Kainz, 1989 ; Kwaad *et al.*, 1998). En l'absence de couverture du sol, l'efficacité des TCSL est beaucoup plus controversée (Heddadj, 2005).

- Le scénario climatique : Selon les années, au sein d'un même contexte expérimental, on constate une forte variabilité du taux d'efficacité d'une même modalité de TCSL (Heddadj et al., 2005). Cette variabilité peut être liée à la variabilité même des années climatiques ou aux cultures en place au moment du test (Quinton et al., 2004).
- La texture du sol : C'est sur des sols argileux que l'efficacité des TCSL pour limiter l'érosion est la plus probante (Rhoton *et al.* 2002). Sur des sols sableux, l'efficacité des TCSL semble moindre (Quinton *et al.*, 2004) alors que sur des sols limoneux, les résultats sont très variables et dépendent essentiellement d'autres paramètres comme la couverture du sol (Leullier, 1999 ; Martin, 1999).
- La date du phénomène érosif : Les TCSL peuvent être efficaces pour lutter contre un phénomène érosif à une certaine période de l'année mais inefficaces si ce phénomène se déclenche à une autre période (Heddadj et al., 2005). C'est souvent l'évolution du taux de couverture et de la porosité du sol qui explique ces différences.

1.3. Facteurs essentielles de l'efficacité des TCSL

L'efficacité des TCSL sur l'érosion peut être déduite de leur capacité à laisser les résidus en surface (Figure 4) et de la quantité de résidus produits. Ce couvert végétal agit sur l'érosion à travers plusieurs phénomènes :

- Le couvert végétal protège le sol de l'action des gouttes de pluie et réduit ainsi la dégradation superficielle qui permet de limiter l'érosion par effet 'splash' (Döring et al. 2005) ainsi que la formation et l'extension d'un croûte de battance (Kwaad *et al.*, 1998).
- Le couvert végétal améliore la porosité de la surface du sol. Les résidus maintenus dans la couche supérieure du sol procurent de la nourriture aux vers de terre qui remontent jusqu'en surface pour s'en emparer, créant ainsi une porosité biologique (Friebe et Henke, 1992). Cette augmentation de la porosité permet aux eaux de pluie de s'infiltrer plus facilement, réduisant ainsi le ruissellement et l'érosion. Dans le cas d'un couvert végétal vivant, quelques observations d'agronomes font aussi état de la présence d'une porosité persistante localisée à la base des tiges, pouvant améliorer la perméabilité du sol.
- Le couvert végétal augmente le flacage superficiel et diminue la vitesse d'écoulement superficiel de l'eau (Kwaad *et al.*, 1998) car il constitue de petits obstacles à l'écoulement. Cela affaiblit l'érosivité de l'eau ruisselante.

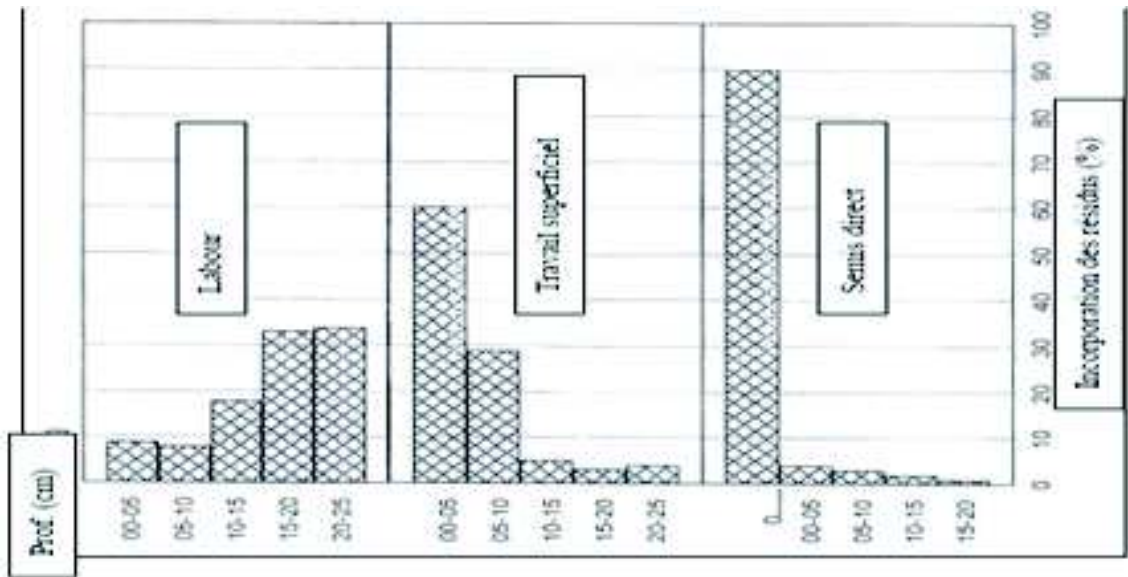


Figure 4 : Degré d'incorporation des résidus (%) dans le sol, en fonction de différentes modalités de travail du sol

(Source : Schmidt et Tebrügge, 1989)

L'autre facteur essentiel de l'impact des TCSL sur l'érosion est l'augmentation de la teneur en matière organique en surface qui accroît la stabilité structurale des agrégats (Balabane et al. 2005) (Figure 5). De nombreux auteurs ont établi que la stabilité structurale des sols est corrélée positivement au taux de carbone organique (Le Bissonnais et Arrouays, 1997).

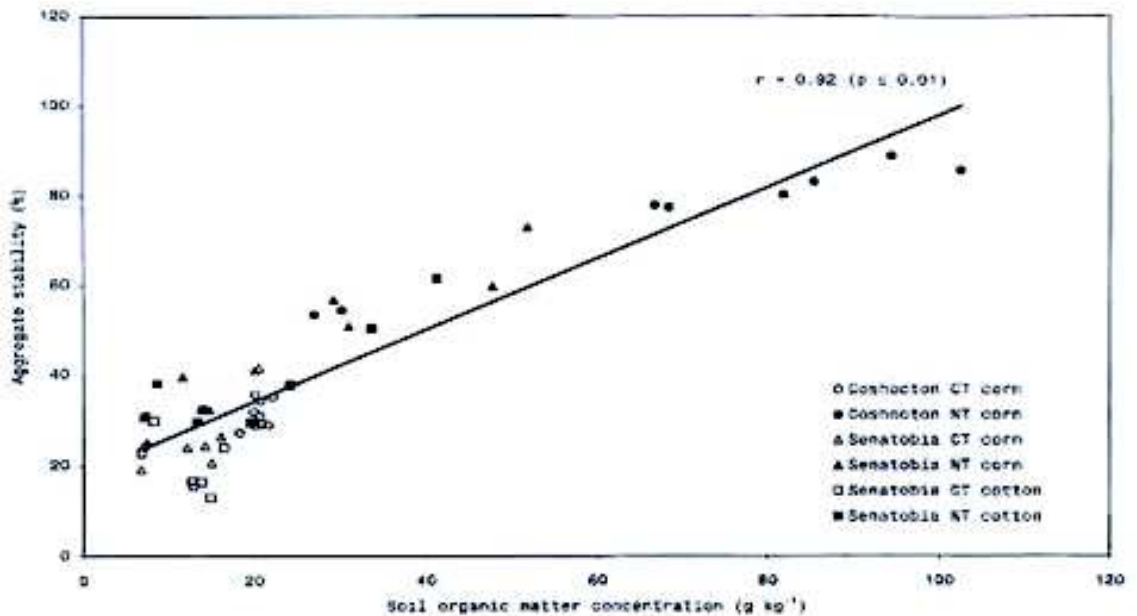


Figure 5 : Accroissement de la teneur en matière organique du sol en semis direct et conséquence sur la stabilité structurale des agrégats

(Source : Rhoton et al., 2002)

(NT = no tillage ; CT = conventional tillage)

Cet accroissement est d'autant plus visible que les sols sont de nature fragile, à faible stabilité structurale (Gross, 1995). La conséquence est que l'impact des TCSL sur la stabilité structurale est plus visible sur les sols limoneux (Rhoton *et al.* 2002) que sur les sols argileux (Longueval, 2005).

L'accroissement de la stabilité structurale des agrégats de surface en TCSL permet de réduire la détachabilité des particules et donc l'érosion diffuse. Les TCSL permettent également d'accroître la cohésion apparente des sols (Govers, 1987), ce qui réduit l'érosion linéaire : la force de cisaillement critique est 1,2 à 2 fois plus élevée en semis direct qu'en labour (Gilley *et al.* in Poesen, 2003). La capacité des TCSL à réduire le ruissellement permet également de réduire l'érosion, diffuse et linéaire. Enfin, les TCSL diminuent la rugosité initiale de surface par rapport à un labour (Zobeck *et al.*, 1987). Cela a pour conséquence de réduire la détention superficielle de l'eau (Onstad *et al.* 1984) – ce qui peut accroître le ruissellement – et de réduire la concentration en sédiments de l'eau ruisselée (Cerdan, 2001) – ce qui réduit l'érosion.

Les TCSL peuvent donc constituer un moyen très efficace pour lutter contre l'érosion. C'est d'ailleurs cette efficacité qui explique en grande partie le développement de ces techniques pour lutter contre des événements érosifs à travers le monde : aux Etats-Unis dans les années 1930 (dust bowl) ou en Amérique du sud dans les années 1980 (érosion hydrique). Les TCSL sont actuellement utilisées pour lutter contre l'érosion éolienne au nord de la Chine par exemple (avec des problèmes de nuages de poussière sur Pékin) ou contre l'érosion hydrique en république Tchèque ou en Norvège, avec la mise en place d'aides publiques pour l'utilisation de ces techniques. En Algérie, les résultats montrent que les TCSL sont capables de limiter l'érosion dans la grande majorité des cas. Toutefois, l'impact reste fondamentalement lié aux multiples conditions qui entourent la technique : ce n'est pas tant le non labour en lui-même qui diminue l'érosion mais le fait que les TCSL permettent

- de maintenir une couverture du sol
- d'augmenter la teneur en matière organique à la surface du sol
- de favoriser la création de biopores par l'activité des lombriciens.

2. Impacte des TCSL sur la matière organique

2.1. Caractérisation de la menace

La matière organique du sol est composée d'éléments organiques (restes de racines, de plantes, excréments, exsudats...), d'organismes vivants (bactéries, champignons, faune du sol...) et d'humus, produit final stable de la décomposition des éléments organiques sous l'action des organismes du sol. Il existe différentes formes de matière organique dans le sol : libre ; particulaire incluse ou non dans les agrégats ; associée aux agrégats (figure 6). L'essentiel du stock de matières organiques est présent dans la couche arable ou l'équivalent de l'ancienne couche labourée.

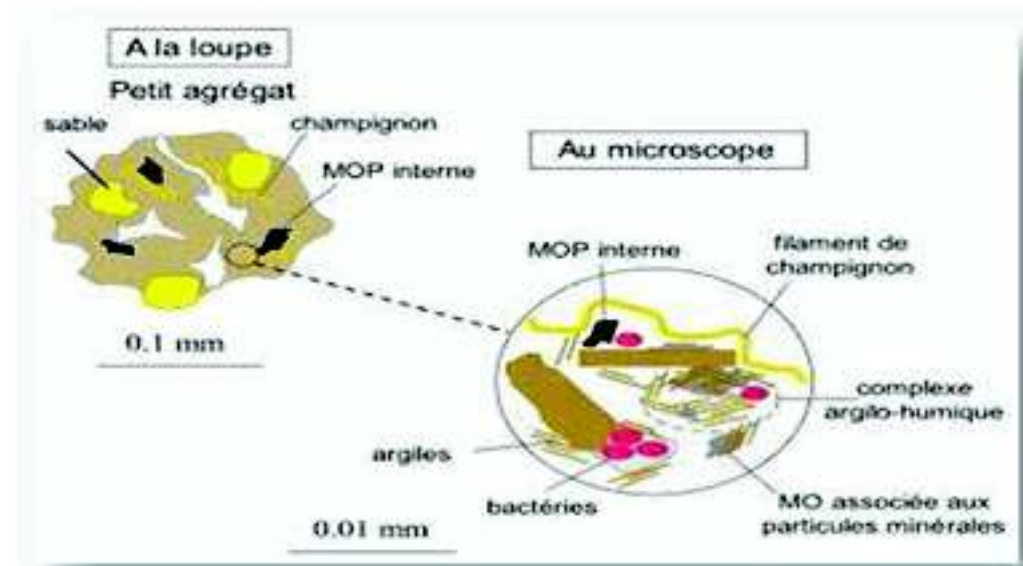


Figure 6 : Les différentes formes de matière organique dans les sols : matière organique particulaire interne (MOP interne), matière organique associée. Les MOP externes non représentées ici sont les MOP non incluses dans les agrégats

D'après Chenu, non publié)

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.

2.2. Impact des TCSL sur la quantité et la localisation de la MO

Les TCSL ont un impact important sur la matière organique du sol (MOS) en jouant à deux niveaux essentiels : De un elles modifient l'équilibre entre apports et pertes de MOS conduisant à une évolution du stock de matière organique, pour atteindre éventuellement un nouvel équilibre (Figure 7) et de deux elles modifient la répartition des MOS dans le profil (Figure 8), conduisant à de fortes augmentations de teneur en MOS en surface ce qui modifie les fonctions assurées par cette matière organique.

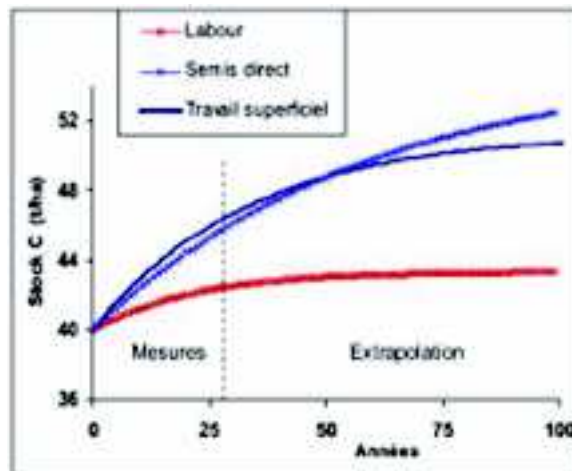


Figure 7 : Effet simulé du travail du sol sur le stock de C organique des sols (Arrouays et al., 2002)

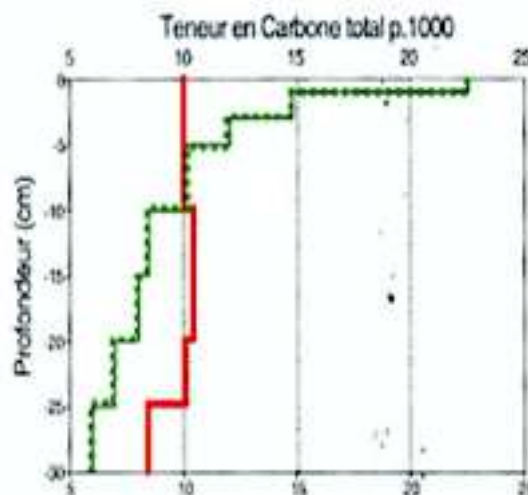


Figure 8. : Evolution de la teneur en C total dans le profil dans une parcelle labourée

S'il est généralement admis que les TCSL permettent une augmentation de la teneur en matière organique des sols, la vitesse et la durée de cette augmentation sont extrêmement variables selon les sources bibliographiques. Les travaux européens et américains montrent une vitesse d'augmentation du carbone organique généralement comprise entre 10 et 60 $\text{gC m}^{-2}\text{an}^{-1}$ (Balesdent, 2002 ; West et Post, 2002) avec des minimum autour de 4 $\text{gC m}^{-2}\text{an}^{-1}$ (Tebrügge et Düring, 1999) et un maximum de 120 $\text{gC m}^{-2}\text{an}^{-1}$ (Soane et Ball, 1998). L'augmentation apparaît souvent plus rapide en semis direct qu'en travail superficiel (West et Post 2002 ; Balesdent 2002), bien que l'on observe parfois le contraire (Thevenet et al. 2002 ; Arrouays et al. 2002). Si l'on se place dans une situation où la matière organique contient 50% de carbone et la masse volumique du sol est de 1.2 t m^{-3} , une augmentation du carbone organique de $50 \text{ gC m}^{-2}\text{an}^{-1}$ signifie qu'en 30 ans, on augmente de 1% la teneur en matière organique de la couche arable (25 cm), ce qui dans une part importante de nos sols cultivés correspond à une augmentation de 50 % du stock de matière organique. En fait, en TCSL, la teneur en matière organique n'augmente pas sur l'ensemble de la couche arable mais essentiellement en surface (Fig. 8). West et Post (2002) estiment que

85% de la matière organique s'accumule dans les 7 premiers centimètres. Avec les mêmes hypothèses de calcul que précédemment, on montre qu'il faut 8 ans pour gagner 1% de MOS dans cet horizon. Cette augmentation de la teneur en MOS des sols ne se fait pas indéfiniment : elle s'arrête lorsqu'un nouvel équilibre est atteint entre apports et pertes de MOS. Les estimations du temps nécessaire pour atteindre ce nouvel équilibre sont très variables dans la littérature: 10 à 20 ans (West and Post, 2002), 25 à 30 ans (Lal et al. 1998), 50 à 100 ans (Balesdent 2002). Cette variabilité des vitesses et des durées d'augmentation des MOS provient de la sensibilité des processus à l'origine de l'équilibre entre apports et pertes de MOS en TCSL.

2.3. Impact des TCSL sur les apports et les pertes de la MO

Le sol est une source et un puits de carbone à la fois. En effet, il existe un équilibre dynamique entre les apports de matière organique au sol et les pertes par minéralisation ou par érosion.

Les TCSL peuvent tout d'abord avoir un impact sur les apports de carbone, notamment si elles induisent des différences notables de productivité des cultures. La rotation des cultures et le devenir de leurs résidus ont un impact élevé sur le stock de carbone du sol (Thevenet et al., 2002). La présence de cultures intermédiaires peut aussi augmenter sensiblement les apports de matières organiques au sol (Plenet et al., 1993). Cependant, le positionnement des résidus végétaux en surface dans le cas du semis direct limite le contact sol-résidus et peut ralentir leur vitesse de décomposition (Balesdent et al., 2000).

Les TCSL ont surtout un effet sur les pertes de MOS par minéralisation et par érosion. Différents auteurs ont noté des émissions plus importantes de CO₂ à partir du sol après un travail du sol, comparativement à un sol non travaillé (Al-Kaisi et Yin, 2005). Ces mesures concernent cependant un laps de temps assez court après un passage d'outil. Les TCSL modifient tout d'abord des conditions du milieu (oxygénation, température, humidité) auxquelles sont sensibles les organismes responsables de la minéralisation. C'est surtout la diminution de la perméabilité à l'air – et donc du taux d'oxygène dans le sol – qui affecte la minéralisation (Yavuzcan *et al.*, 2005). Les températures de sol plus faibles parfois observées en TCSL (notamment au printemps) peuvent également expliquer une réduction de la minéralisation (Chassot *et al.*, 2001). Les TCSL modifient ensuite l'accessibilité de la MOS aux micro-organismes responsables de sa minéralisation. En effet, le travail du sol conduit à diluer les matières organiques sur la couche travaillée, et donc à réduire la stabilité structurale de la couche de surface, comparativement à un sol non travaillé. Chaque année, de nouvelles fractions du sol sont exposées à l'action dé-structurante du climat (Balesdent et al., 2000). Les deux modes d'action du travail du sol sur la décomposition des matières organiques sont décrits dans la (figure 9) où les auteurs mettent en avant la notion de protection des matières organiques au sein des agrégats.



Figure 9 : Protection physique de la matière organique du sol et «déprotection» par le labour

(D'après Chenu, non publié)

D'autres facteurs peuvent avoir un impact sur la minéralisation des matières organiques. La fraction des matières organiques qui est la plus favorisée par les TCSL concerne les matières organiques particulaires (MOP). Cela peut être illustré par les travaux de Oorts et al. (2006a) où les MOP expliquent 58% de la hausse du stock de carbone observée en semis direct (Figure 10). En effet les MOP sont une fraction des matières organiques à temps de renouvellement rapide (quelques années), c'est donc un indicateur précoce des changements de statut organique des sols.

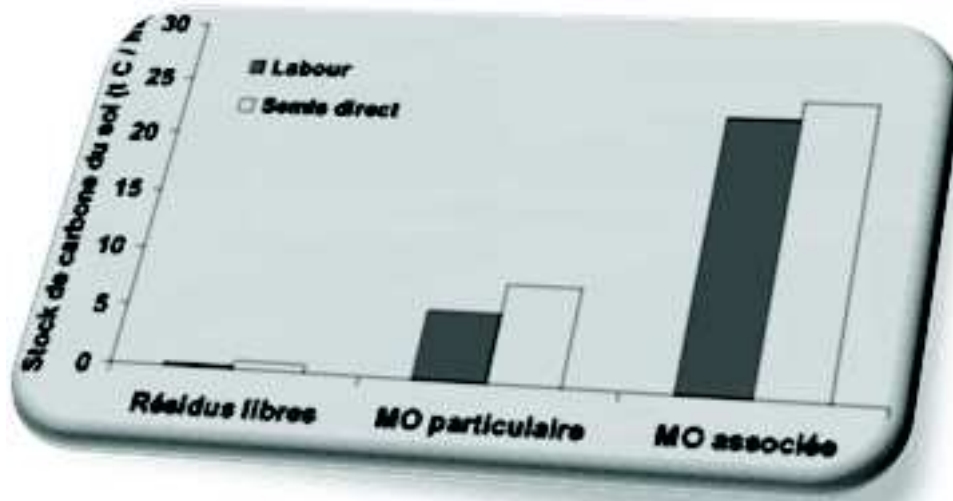


Figure 10 : Stocks de carbone ($t C \cdot ha^{-1}$) dans les différentes fractions de sol sous labour et sous semis direct pour une couche de sol équivalente à la profondeur du labour

(D'après Oorts et al., 2006a)

Alvarez et al. (1995) et Germon et al. (1994) soulignent que si les TCSL peuvent ralentir à certains moments la vitesse de dégradation des résidus, elles n'empêchent cependant pas une bonne décomposition de ces résidus. Le mulch de résidus en surface ne s'épaissit pas d'année en d'année dans les sols conduits en semis direct continu.

3. Impact des TCSL sur le tassement du sol

3.1. Caractérisation de la menace

Le tassement du sol se produit quand celui-ci est soumis à une pression mécanique du fait de l'utilisation de machines lourdes ou de surpâturage, particulièrement dans des conditions de sol humide. Cela réduit l'espace lacunaire entre les particules de sol (diminution de la porosité du sol) et peut restreindre la croissance des racines, la capacité de stockage de l'eau et de filtration des éléments, l'activité biologique et les biotransformations des éléments qui en résultent. En outre, le tassement du sol réduit l'infiltration de l'eau ce qui peut augmenter le ruissellement et les risques d'érosion.

3.2. Impact des TCSL sur la création et la destruction de la porosité

L'impact des TCSL sur la porosité du sol résulte de leurs effets sur l'équilibre entre les processus qui créent de la porosité (d'origine mécanique, climatique ou biologique) et ceux qui la détruisent (comportement des agrégats sous l'action d'une contrainte mécanique). La création de porosité d'origine mécanique par le travail du sol peut être très variable selon les systèmes de TCSL : encore très forte en pseudo-labour mais pratiquement inexistante en semis direct.

La création de porosité d'origine climatique résulte des propriétés du sol (notamment son taux d'argile) et de son comportement en interaction avec le climat : alternances humectation – dessiccation ou gel – dégel créant des fissures dans les agrégats ce qui augmente la porosité. Enfin, l'activité biologique dans le sol (notamment des lombriciens) renforcée en TCSL peut contribuer très efficacement à créer de la porosité.

La destruction de porosité du sol dépend de la contrainte mécanique qui est exercée, de l'état du sol (notamment l'humidité) au moment où est appliquée cette contrainte et de la capacité des agrégats à résister à cette contrainte. Les TCSL ont un impact à deux niveaux :

1. Sur la contrainte elle-même (diminution du nombre de passage ou de la surface compactée)
2. sur le comportement du sol face à cette contrainte.

Une diminution de la surface compactée en TCSL est observée aussi bien en grandes cultures (Richard et al., 1995) qu'en sols viticoles (Lagacherie et al., 2006).

L'augmentation de la stabilité des agrégats sous TCSL a été montrée par de nombreux auteurs pour des agrégats situés à proximité de la surface du sol (Angers et al. 1998; Arshad et al. 1999; Beare et al. 1994; Puget et al. 1995; Puget et al. 1995 ; Six et al. 1998 ; Rasmussen 1999 ; Chenu et al. 2004 ; Balabane et al. 2005.). Lorsque le semis direct est accompagné d'une couverture végétale permanente, l'augmentation de stabilité structurale semble plus rapide et plus importante (Balabane et al, 2005). La diminution de fragmentation, l'augmentation des teneurs en matière organique et de l'activité biologique dans les premiers centimètres du sol favorisent la préservation et la formation d'agrégats stables. La relation entre le taux de carbone et la stabilité a été montré par de nombreux auteurs

(Ball et al. 1996; Chenu et al. 2000; Pagliai et al. 2004). Le rôle des microorganismes sur la stabilité structurale a notamment été montré par (Consentino et al. (2006). De fait, (Beare et al. 1997) montrent le rôle prédominant des champignons, souvent plus abondants en TCSL, dans l'agrégation des sols comparés aux bactéries.

3.3. Variabilité de l'impact des TCSL sur la porosité

La combinaison de ces différents facteurs conduit à un impact des TCSL sur la porosité du sol extrêmement variable selon les situations, même si l'on note une tendance à la diminution de porosité sous TCSL (Van den Bygaart 2002). C'est en semis direct que les diminutions de porosité les plus fortes sont observées : de quelques pourcents à 30% au maximum comparée au labour (Carof *et al.* 2007). Cependant dans certains cas, les auteurs rapportent une augmentation de porosité en semis direct (Douglas *et al.* 1986 ; Tebrügge & Düring, 1999). Les variations de densité sous travail superficiel sont la plupart du temps non significatives (Bescansa *et al.*, 2006). Les quelques études sur le pseudo labour montrent également de faibles variations de densité par rapport au sol labouré (Anken *et al.*, 2004). On observe généralement une diminution de la macroporosité en TCSL comparé au labour mais dans des proportions très variables en fonction du type de travail du sol, de la profondeur de mesure et de la date de mesure : un écart important juste après la date de labour peut s'atténuer voire disparaître dans le temps. (Bescansa *et al.* 2006). Cette diminution de macroporosité est due à une disparition d'une partie des pores d'assemblage alors que la proportion de biopores augmente généralement avec la durée du non travail (Carof *et al.* 2007).

Les diminutions de porosité observées sous semis direct concernent généralement la couche (5–20 cm) (Kay et VandenBygaart 2002). En surface (0-5cm), la porosité d'un sol sous TCSL peut être similaire voire supérieure à celle d'un sol équivalent labouré, en raison de la présence des résidus en surface et de l'augmentation des teneurs en matière organique (Kay et VandenBygaart 2002). Plus en profondeur (20-30 cm) les TCSL peuvent contribuer à augmenter la porosité au niveau de l'ex-semelle de labour qui disparaît progressivement (Hangen *et al.* 2001).

L'impact des TCSL sur la porosité du sol dépend donc de l'horizon de sol considéré ; il évolue également au cours du temps. Ainsi, dans les publications recensées, on observe une diminution de porosité en semis direct dans 70% des cas quand l'arrêt du labour date de moins de 10 ans, mais cette proportion tombe à 25% après 10 ans de semis direct. Cela renvoie à l'existence d'une phase de transition mentionnée par plusieurs auteurs : la diminution de porosité les premières années en raison de la diminution de la fragmentation du sol serait progressivement compensée par une porosité d'origine biologique, résultant de l'accroissement des populations de lombriciens notamment.

Toutefois, la durée de cette période de transition est assez différente selon les auteurs : de quelques années à plus de 15 ans (Guérif 1994; Ball *et al.*, 1994 ; Maillard *et al.*, 1994 ; Friedel *et al.* 1996 ; Tebrügge et Düring, 1999 ; Richard, 2001 ; Kay et VandenBygaart 2002 ; Anken *et al.* 2004).

4. Impact des TCSL sur la contamination des sols

4.1 Caractérisation de la menace

On distingue deux types de contamination des sols : les contaminations locales, généralement associées aux exploitations minières, aux installations industrielles et aux décharges, et les contaminations diffuses, généralement liées au dépôt atmosphérique, à certaines pratiques agricoles et au recyclage et au traitement inadéquat des déchets et des eaux résiduaires (CCE, 2010). Un certain nombre de pratiques agricoles peuvent donc être considérées comme source de contamination diffuse du sol, bien que leurs effets sur l'eau

et l'air soient généralement plus importants. Les principales substances incriminées sont les métaux lourds, présents dans certains engrais, produits de traitement ou boues de stations, ainsi que les pesticides.

4.2. Impact des TCSL sur la contamination diffuse des sols

L'impact des TCSL sur la contamination diffuse des sols est sans doute limité et, de fait, très peu étudié. Seule la contamination par les herbicides a fait l'objet de quelques études dans des systèmes sans labour.

La rétention des produits phytosanitaires dans le sol est due à des phénomènes réversibles (adsorption – désorption) ou irréversibles (Belamie *et al.*, 1997). Elle résulte de l'équilibre entre plusieurs processus :

- L'adsorption des molécules en solution sur la surface des composés minéraux (oxydes, hydroxydes, argiles) et organiques (matière organique en voie de décomposition...).
- La désorption, qui correspond à la remise en solution des substances adsorbées. Elle peut être très lente, le processus va dépendre du temps passé au contact de l'agrégat et de la nature de ce dernier.
- La dégradation biologique, à travers l'action des micro-organismes. Certains micro-organismes dégradent totalement les matières actives pour leur croissance, ce sont des métabolisans. D'autres ne dégradent pas complètement les molécules et ont besoin d'un autre substrat pour leur développement, ce sont des co-métabolisans. Ils possèdent une grande capacité d'adaptation et de mutation qui leur permet d'agir dans des conditions variées et sur un large spectre de produits.
- Le transfert des substances dans l'eau ruisselée ou lessivée ou bien dans la terre érodée.

Les TCSL sont susceptibles de modifier la rétention des produits phytosanitaires dans le sol à travers les modifications du milieu qu'elles induisent. La présence d'un mulch en surface tout d'abord peut intercepter jusqu'à 80% des produits appliqués (Streit *et al.*, 2002). Ensuite, l'augmentation de la teneur en matière organique dans les horizons superficiels en TCSL favorise l'adsorption des produits (Gaston *et al.*, 2003). Enfin, l'augmentation de l'activité microbienne en TCSL permet une dégradation plus rapide des produits appliqués (Gaston *et al.* 2003). Toutefois, l'adsorption des produits sur la matière organique peut dans certains cas les préserver d'une bio-dégradation (Zablotowicz *et al.*, 2000). D'une manière générale, l'augmentation de la rétention des polluants sur la phase solide du sol diminue les risques de dispersion du polluant, mais peut rendre difficile sa complète élimination et diminuer l'efficacité du produit (Barriuso *et al.*, 1997).

5. Impact des TCSL sur la biodiversité

5.1. Caractérisation de la menace

Le sol est l'habitat d'une grande variété et d'une grande quantité d'organismes vivants : un gramme de sol cultivé peut contenir jusqu'à 10 millions de bactéries (Dictor, 1994) appartenant à 20000 espèces différentes et des centaines d'espèces d'invertébrés (Lavelle, 1997). Ces organismes jouent des rôles essentiels dans le maintien des propriétés et des fonctions des sols : cycle des éléments, décomposition de la matière organique, dégradation des polluants, brassage et organisation structurale du sol, réservoirs d'éléments nutritifs

etc. La biodiversité des organismes vivants du sol est donc considérée comme une propriété à maintenir pour des raisons patrimoniales, fonctionnelles, mais aussi parce que la biodiversité garantirait une meilleure stabilité des écosystèmes aux perturbations (Altieri, 1999). Bien que la complexité de la dynamique de la biodiversité du sol soit encore très imparfaitement comprise, de nombreuses études mettent en évidence une diminution de la biodiversité dans les agro-écosystèmes, que ce soit au niveau des plantes et des invertébrés (Stoate et al., 2001) mais également des oiseaux et des mammifères.

5.2. Approche fonctionnelle et spatiale

Les TCSL vont affecter le développement des microorganismes et de la faune au travers de deux modifications majeures, la modification de l'habitat et la modification des ressources nutritives, aboutissant à une évolution des dynamiques des populations susceptibles d'accroître la biodiversité dans les agro-systèmes.

Les organismes du sol sont impliqués dans de nombreux processus à l'origine de la formation et du fonctionnement des sols, aussi l'impact des TCSL sur la biodiversité des sols peut être abordée de manière fonctionnelle. Les microorganismes jouent un rôle important dans la dynamique de la matière organique, la fertilité des sols et la stabilisation de la structure du sol. Pour les invertébrés, une classification proposée par (Lavelle 1997), permet de définir le rôle de la faune en fonction de leur taille et de leur niveau d'interaction avec les microorganismes. Un premier ensemble d'organismes comprend la microfaune prédatrice de bactéries et de champignons et leurs prédateurs : des bactéries, des champignons, des protozoaires, des nématodes et quelques araignées. Ce premier ensemble est peu impliqué dans la modification de la porosité du sol, mais joue un rôle significatif dans la régulation des microorganismes et la libération des nutriments immobilisés par ces microorganismes. Le deuxième ensemble, les transformateurs de litières, est composé de la méso-faune et des grands arthropodes ; ces organismes créent des structures organiques au sein d'associations mutualistes avec des microorganismes et libèrent des acides organiques impliqués dans l'altération minérale. Enfin les ingénieurs de l'écosystème (dans les écosystèmes tempérés les vers de terre et dans une moindre mesure les fourmis) forment en associations avec des bactéries des structures organo-minérales et construisent des réseaux de galeries qui peuvent avoir un rôle déterminant dans les processus de transfert et la porosité du sol.

Cette approche fonctionnelle de la biodiversité peut être complétée par une approche spatiale car les TCSL induisent des gradients verticaux de répartition des ressources nutritives et des conditions d'habitat dans le profil. Des classifications en fonction de la localisation de la faune dans les sols peuvent être utilisées pour évaluer l'impact des TCSL sur la faune. Une telle classification a par exemple été développée pour les vers de terre : on peut aisément distinguer les vers épigés, évoluant en surface et fortement influencés par les teneurs en matière organique, les endogés, vivant en profondeur et essentiellement géophage et les anéciques évoluant sur tout le profil de sol (Bouché, 1997 in Kladivko 2001). Une classification similaire à celle des vers de terre a été décrite pour les collemboles (Gisin, 1943). Ces différentes classifications aident à comprendre l'impact des TCSL sur les organismes du sol.

5.3. Modification de l'habitat

Les TCSL ont un impact sur plusieurs composantes de l'habitat auxquelles sont sensibles les organismes du sol : la porosité du sol, la présence d'un mulch en surface, les flux d'air et d'eau dans le sol, son humidité.

De nombreux travaux mettent en évidence une modification de la porosité, et plus particulièrement de la macroporosité sous les TCSL (Mackie Dawson et al., 1989 ; Bescansa et al., 2006 ; Yavuzcan et al., 2005 ; Anken et al., 2004 ; Pidgeon et al., 1981 ; Douglas et al., 1986 ; Tebrugge et During, 1999 ; Maillard et al., 1994 ; Hallaire et al., 2004).

La diminution de la taille des pores va affecter les organismes en fonction de leur taille. Cette observation a notamment été faite par Webb et Corbett (1973) qui constatent une augmentation des nématodes parasites de petites tailles et une diminution des nématodes parasites de grande taille sous semis direct : la diminution de la macroporosité en semis direct aboutirait à une diminution des zones de refuges pour les parasites de grandes tailles qui sont donc plus exposés aux prédateurs ou aux pesticides. La relation entre taille des organismes et impact des TCSL sur leur développement n'est cependant pas toujours constatée (Hulsman et Wolters, 1998).

La formation d'un mulch en surface des sols sous TCSL constitue un abri pour la faune édaphique, notamment vis-à-vis de la sécheresse. Hulsman et Wolters (1999) montrent par exemple que les différences de densités d'acariens entre un sol labouré et un sol sous semis direct sont plus importantes au début de l'été, période pendant laquelle les arthropodes sont particulièrement sensibles à la sécheresse (Hulsmann et Wolters, 1998). Le mulch constitue également un abri pour la faune épigée comme les vers de terre épigés ou les limaces qui tendent à se développer sous TCSL (Kreye, 2004). Peu d'études montrent un impact direct de la diminution des flux d'air dans les sols sur la faune du sol. Une aération renforcée du sol sous labour est cependant invoquée pour expliquer la prolifération de certaines espèces d'acariens (Gottfriedsen et al., 1987 in El Titi 2003). La diminution de l'oxygénation des sols est également un des éléments expliquant la diminution des taux de minéralisation sous TCSL. La non perturbation du biotope par le labour est susceptible de favoriser le développement des champignons du sol (Balabane et al. 2005) et de la faune créatrice de galeries : l'impact positif des TCSL a été par exemple démontré dans le cas des vers de terre anéciques (Mauer-Troxler et al., 2006) et des rongeurs (Kreye 2004). Enfin, l'absence de destruction des nids d'oiseaux par le labour peut hautement contribuer à la restauration des populations avifaunes en adaptant toutefois les opérations de travail du sol résiduelles : date du semis par rapport à la nidification (McLaughlin et Mineau, 1995).

5.4. Modification de la ressource nutritive

Les TCSL conduisent à une accumulation de matière organique en surface des sols, qui s'accompagne souvent d'une modification de la qualité des MO en surface avec une augmentation de fractions minéralisables, telles que les matières organiques particulières (Oorts et al., 2007 ; Tan et al., 2007) et une augmentation des teneurs en sucres (Puget et al., 1999). Cette nouvelle répartition de la matière organique en surface va modifier l'ensemble de la chaîne alimentaire des sols sous TCSL. Les premiers organismes impliqués sont les bactéries et les champignons. De nombreuses études montrent une augmentation en surface de la biomasse microbienne qui varie entre +30 et +100% (Dumontet et al., 2001 ; Diaz-Ravina et al. 2005; Dilly et al., 2003 ; Balabane et al. 2005 ; Murillo et al., 2006). En revanche, la biomasse microbienne est parfois moins importante en profondeur sous TCSL que dans les sols labourés en raison de l'absence d'enfouissement des matières organiques (Piovanelli et al., 2006). L'augmentation de la biomasse microbienne dans les premiers centimètres du sol se traduit souvent par une augmentation de l'activité microbienne. De nombreux auteurs montrent une augmentation de la respiration du sol (Dilly et al. 2003 ; Balabane et al. 2005 ; Oorts et al., 2006), de la minéralisation de N (Oorts et al., 2006) et de différentes activités enzymatiques phosphatase, (Piovanelli et al., 1998),

glucosidase (Diaz-Ravina et al., 2005), fluorescein diacétate hydrolase (Diaz-Ravina et al., 2005), deshydrogénase et protéase (Friedel et al., 1996). Cette augmentation d'activité microbienne n'est cependant pas systématique (Maurer-Troxler et al. 2006 ; Ulrich et al., 2006) et est restreinte aux premiers cm en surface du sol (Dilly et al., 2003).

Les TCSL favorisent également le développement des décomposeurs (mésafaune et macrofaune) ; un gradient vertical de nématodes aligné sur celui de la matière organique a été rapporté (Rössner et al., 1994) et l'augmentation de la densité des acariens sous TSL observée par Hulsmann et Wotlers (1998) est essentiellement expliquée par le développement des oribates détritivores. L'impact sur les populations de vers de terre dépend de leur localisation dans le profil. Les vers de terre épigés vont bénéficier de la présence de cette ressource nutritive (Paoletti et al., 1998) et le développement et l'activité de création de galeries des vers de terre anéciques vont être accélérés par cette accumulation de matière organique en surface (Mauer-Troxler et al., 2006 ; Epperlein, 2003 ; Balabane *et al*, 2005) En revanche, l'absence d'enfouissement de matière organique par le labour peut s'avérer défavorable aux vers de terre endogées (Topoliantz et al., 2000), même si quelques exemples d'impact négatif du labour sur des vers de terre endogées ont également été rapportés (Paoletti et al., 1998). De la même manière, les collemboles épigés sont susceptibles d'être plus affectés par le labour que les espèces endogées (El Titi et al., 2003). Mais l'impact des TCSL sur le développement des collemboles apparaît très variable selon les espèces considérées (Dittmer et Schrader 2000).

Des résultats contradictoires sont également constatés au niveau des prédateurs. Lopez-Fando et Bello (1995) observent sous semis direct une augmentation de la densité des nématodes essentiellement due au développement des nématodes bactérivores alors que Lenz et Eisenbeis (2000) mesurent plus de nématodes bactérivores dans le sol labouré. Des résultats contrastés sont également rapportés pour les acariens prédateurs (Mésostigmates) (Wardle 1995 in Aubertot et al. 2006). L'interaction entre les impacts des TCSL sur l'habitat et sur la ressource nutritive pourrait expliquer cette variabilité dans les résultats observés. L'impact des TCSL sur la mésafaune peut également s'expliquer en termes de capacité adaptative des différentes espèces : les espèces non affectées ou favorisée par le labour pourraient être des espèces épigées pionnières, qui présentent de bonnes capacités pour coloniser de nouveaux milieux ou des espèces très mobiles, capable de s'abriter en profondeur (Renaud, 2003).

D'une manière générale, les TCSL modifient la biodiversité de la faune du sol : Cortet et al. (2002) rapportent une plus grande diversité des microarthropodes en travail superficiel par rapport au sol labouré, et (Lenz et Eisenbeis 2000) mesurent des différences importantes de compositions trophiques des nématodes entre semis direct et labour. L'augmentation des densités d'arthropodes et de vers de terre sous TCSL est susceptible de favoriser le développement de leurs prédateurs et notamment des oiseaux (Holland, 2004).

L'augmentation de la densité et de la diversité des espèces nicheuses sous TCSL a notamment été observée aux Etats-Unis et au Royaume Unis (Holland 2004, Cunnongham et al., 2004).

5.5. Impact sur la dynamique de la population

Les modifications de densité des populations d'une espèce considérée sous TCSL sont susceptibles de modifier l'ensemble de la dynamique des populations, le développement d'espèces d'un niveau trophique entraînant des modifications pour le niveau trophique supérieur. Par exemple, les TCSL peuvent dans certaines conditions conduire à l'augmentation de la pression parasitaire mais quelques études montrent également une

augmentation des prédateurs de ces parasites sous TCSL. Sous semis direct, Klingenberg et al., (1994) observent une augmentation du parasitoïde du charançon de la tige du chou, et Rodriguez et al. (2006) rapportent une augmentation des hyménoptères parasitoïdes.

Symondson et al. (1996) observent une augmentation des densités d'une espèce de carabe prédatrice de limaces (*Pterostichus melanarius*). Mais le développement d'une population de prédateurs peut avoir des effets contradictoires. Par exemple, le développement des rongeurs sous TCSL peut avoir un impact négatif sur le rendement de culture (Kreye, 2004) mais pourraient réguler la pression parasitaire (Wooley et al., 1985 in Holland, 2004). Des dynamiques de population contrastées peuvent également être observées au cours de la saison de culture : par exemple Dittmer et Schrader (2000) observent un pic de densité de collemboles en juillet en travail superficiel alors que la densité de collemboles est maximale fin août dans le sol labouré. L'interaction entre l'effet du non labour et les traits de vies des espèces pourrait être à l'origine de la complexité des dynamiques de population observées.

Conclusion

Les TCSL peuvent donc constituer un moyen très efficace pour lutter contre l'érosion. C'est d'ailleurs cette efficacité qui explique en grande partie le développement de ces techniques pour lutter contre des événements érosifs à travers le monde. Toutefois, l'impact reste fondamentalement lié aux multiples conditions qui entourent la technique : ce n'est pas tant le non labour en lui-même qui diminue l'érosion mais le fait que les TCSL permettent

- de maintenir une couverture du sol
- d'augmenter la teneur en matière organique à la surface du sol
- de favoriser la création de biopores par l'activité des lombriciens.

L'effet obtenu est donc très dépendant de la présence d'un couvert, en relation avec le système de culture, le système érosif et le contexte pédo-climatique. Il est donc nécessaire de raisonner l'ensemble de ces aspects pour favoriser l'expression des effets positifs des TCSL contre l'érosion.

L'augmentation de la teneur en MOS en TCSL résulte essentiellement du ralentissement de la minéralisation et, dans certains cas, de la diminution de l'érosion, l'impact essentiel des TCSL résulte de la localisation en surface de la MOS, à l'interface sol – atmosphère. Cette position lui permet de jouer des rôles essentiels dans le fonctionnement de l'agro-système : protection de la surface du sol permettant de diminuer la sensibilité du sol aux agressions, abri et nourriture pour les organismes habitués à se nourrir à la surface permettant d'augmenter l'activité et la diversité biologique, surface d'échange sol – air – eau pouvant favoriser les fonctions de transformation et de filtrage du sol.

L'impact des TCSL sur la porosité du sol apparaît extrêmement variable selon les situations. Si l'on observe une tendance à la diminution de la porosité en TCSL, on ne peut pas dire que les TCSL contribuent au tassement des sols pour deux raisons principales :

1. ,cette diminution de porosité reste généralement limitée
2. les TCSL favorisent certains mécanismes de création de porosité et de stabilisation de l'état structural qui peuvent permettre d'inverser cette tendance.

Ces changements dans les processus se traduisent par des modifications d'architecture porale qui ont des répercussions à plusieurs niveaux. La diminution de la macroporosité et l'orientation verticale des pores d'origines biologiques favorise la stabilisation de la

macrostructure qui limite la sensibilité du sol à des stress externes comme les tassements sévères par les engins agricoles, sauf en conditions très humides (Richard et al. 2004). La stabilisation de la structure des horizons superficiels et la présence d'un mulch sous TCSL induisent une diminution des risques de battance, de ruissellement et d'érosion. Enfin, les modifications d'architecture porale (distribution et connectivité des pores) se répercutent sur les transferts de chaleur, de gaz et d'eau, ainsi que sur la composante biologique du sol (macroorganismes, micro-organismes et racines) en raison d'une modification de l'habitat.

Les modifications de l'habitat (taille des pores, humidité, aération...) et la nouvelle répartition de la matière organique sous TCSL affectent de manière notable les microorganismes et la faune du sol, souvent dans le sens d'un accroissement de la biodiversité et de l'activité biologique. Des effets prononcés apparaissent pour les microorganismes et les décomposeurs ; en revanche des résultats plus contrastés sont rapportés pour les prédateurs.

D'une manière générale, la composition et les structures des communautés sont modifiées. Ces modifications affectent l'ensemble de la chaîne trophique des agro-systèmes jusqu'aux oiseaux et mammifères en bout de chaîne. Elles aboutissent à des dynamiques de population complexes qui dépendent à la fois de l'impact des TCSL sur les organismes mais aussi des traits de vie des différentes espèces. L'impact de ces modifications de biodiversité sur la fertilité des sols reste difficile à déterminer et les relations entre la biodiversité et la dynamique de la matière organique ne sont pas clairement établies en raison de la superposition des processus chimiques et physiques aux processus biologiques. En revanche, les conséquences de variations de la biodiversité sous TCSL sont avérées au niveau de la structure du sol qui est améliorée par le développement en surface de l'activité des micro-organismes et des vers de terre.

Chapitre IV : Techniques de conservation de l'eau dans le sol

Introduction

D'après plusieurs études menées par la FAO, entre 1960 et 1970, il semble que dans les régions semi-arides, les outils de travail du sol travaillant à faibles profondeurs sont plus intéressants que d'autres types d'outils pour la conservation de l'eau. Les principaux avantages du travail du sol à faibles profondeurs sont : Former une surface motteuse et cahoteuse dans le but d'améliorer l'absorption de l'humidité et de réduire le ruissellement et l'érosion par l'eau et par le vent. Produire un tassement de sol sous-jacent pour maintenir son humidité en surface. Détruire les mauvaises herbes et faciliter les façons superficielles pour la préparation du lit de semence et les semis. Dalleine, 1973, pense que, la préparation du sol pour conserver l'humidité, exige certains paramètres tels que :

- Arriver à stabiliser le sol de manière à empêcher l'eau et le vent de déplacer les particules.
- Choisir les techniques culturales qui limitent le ruissellement et minimiser l'érosion.
- Rendre la surface du sol apte à absorber le maximum d'eau de pluie et éviter la formation de battance ou de fissuration.

1. Relation humidité du sol culture

1.1. Impact du déficit hydrique sur la culture

Les grandes surfaces céréalières en Algérie se situent généralement dans les zones de précipitation annuelles entre 200 et 500 mm, avec une dominance des régions semi arides où les précipitations annuelles dépassent rarement les 300 mm. D'après les statistiques agricoles la production nationale des céréales est étroitement liée avec la nature de la zone, selon qu'elle soit peu, moyennement ou bien arrosée. La figure 11 montre clairement la distribution des zones et les moyennes annuelles des pluies.

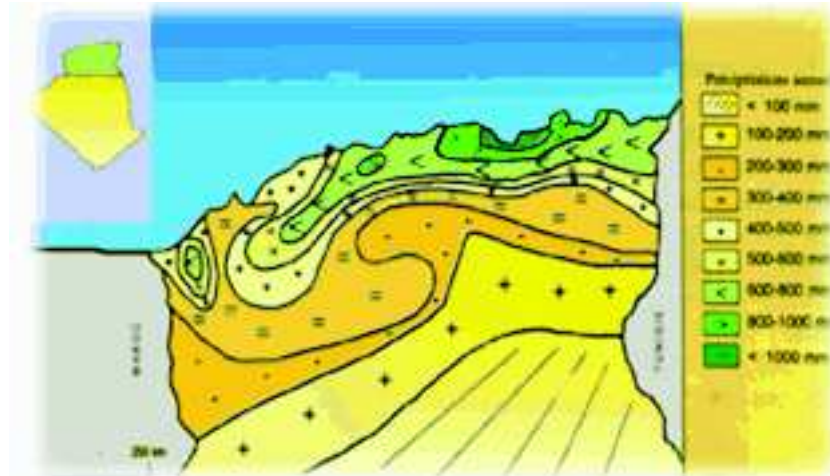


Figure 11: Carte de distribution de la moyenne annuelle des précipitations dans l'Algérie du Nord.

(Maatougui, 1996)

1.2. Relation sol - eau - plante

1.2.1. Relation sol - eau

Le sol est considéré comme support de la plante et réservoir pour l'eau, chaque type de sol se caractérise par certaines propriétés telles que la granulométrie, la densité, la perméabilité et la capacité de rétention. La connaissance de ces différentes caractéristiques est essentielle pour déterminer les réserves en eau que contient un sol, les quantités qu'il pourra recevoir et emmagasiné ainsi que les techniques culturales utilisées pour améliorer la conservation de cette eau.

1.2.2. Relation eau – plante

Pour accomplir son cycle, la plante à besoin de pomper de l'eau qui est fortement liée aux particules de terre. Pour le faire, la plante doit fournir un effort proportionnelle à la liaison eau particule qui s'appelle « force de succion » ou déficit de pression de diffusion (Luisier, 1972 in Annemiche, 1994). L'eau contenue dans le sol traverse la membrane des cellules des poils absorbants selon le principe d'osmose, la force développée (force de succion) est exprimée en atmosphère (unité de mesure de pression). Ainsi, l'eau du sol dissous les minéraux (engrais etc.), en les ionisant. Ce mélange ou solution est ensuite absorbé par les cellules des poils absorbants et constitue la sève brute, l'eau dans la plante se répartira en eau de constitution, eau utilisée pour la fonction chlorophyllienne et l'élaboration de la

sève élaborée, le reste de l'eau ne fait que traverser la plante pour ressortir sous forme d'évaporation (appelée eau de végétation), elle représente la transpiration, si on ajoute celle qui s'évapore du sol, on obtient l'évapotranspiration de la culture.

1.2.3. Les réserves d'eau dans le sol

La variation de la réserve d'eau dans le sol est tributaire de multiples paramètres, certains dépendent du type de sol, tel que la texture, structure et profondeur, d'autres sont liés à la conduite culturale, le climat et la région. De toutes manières, les techniques culturales influencent considérablement cette réserve qui à son tour peut être définie comme suit :

La capacité de rétention, c'est la quantité d'eau retenue par un sol après ressuyage. Elle varie en fonction de la taille de constituants granulaires, plus ces derniers sont petits et fins plus l'humidité équivalente est grande.

La capacité au champ, c'est le point de saturation, quand le sol reçoit une grande quantité d'eau, celle ci remplit toute la porosité et les interstices en chassant l'air et l'humidité atteindra le maximum, alors, on dit que le sol est au point de saturation ou à sa capacité au champ.

Le point de flétrissement, celui ci correspond à la situation de l'eau capillaire non absorbable par la plante, à ce stade, la plante commence à se faner. Certains chercheurs pensent qu'il est fonction du type de sol et peut être à 55% de la capacité de rétention (Kelkouli m ; 2008).

2. Situation de l'humidité dans le sol

La plante ne peut utiliser toute l'eau se trouvant dans le sol. C'est pour cela qu'il faut connaître la partie de l'eau utile à la plante. Si l'humidité équivalente d'un sol est 100% et le point de flétrissement est à 55%, la réserve utile (RU), sera 45%. Toutefois, la plante aura beaucoup de difficulté à utiliser l'eau avec la diminution de l'humidité (Nonguierma et Dautrebande, 1994) et à mesure qu'on s'approche du point de flétrissement. On estime que la réserve facilement utilisable (RFU) est au 2/3 de la RU, soit $45 \times \frac{2}{3}$, donc, environ 30% de la capacité de rétention. Du moment que le sol est formé de plusieurs horizons différents les uns des autres, leurs RFU est aussi différentes, alors, il faudrait mesurer ces RFU de chaque horizon et faire la somme pour une profondeur d'enracinement des plantes. Ceci pour estimer les besoins de la culture et déterminer à quel moment on doit intervenir par l'irrigation, avant d'arriver au point de flétrissement. La mesure de l'humidité est possible, soit directement par une lecture directe à l'aide de l'humidimètre portable ou la sonde à neutrons ou alors, par prélèvement d'échantillons de terre par tarière et mesure du poids humide puis poids sec après passage à l'étuve. Connaissant l'humidité dans le sol à différents niveaux et la partie de cette eau aisément utilisée par la plante, il reste à savoir la technique de conservation de celle-ci, dans le but de déterminer la meilleure façon de travail du sol, permettant la répartition de cette eau dans le sol en agissant sur sa porosité.

3. Méthodes d'amélioration de l'absorption de l'eau dans le sol

Les régions Algériennes, sont caractérisées par la faible pluviosité, l'absence de couverture végétale et le tassement causé par le piétinement excessif du sol par les troupeaux, tout ceci réduit automatiquement l'absorption de l'eau par le sol. Donc, les méthodes indiquées précédemment s'avèrent nécessaires, toutefois, il existe aussi d'autres méthodes qui ne

sont pas à négliger et qui consiste par exemple à laisser des résidus organiques sur la surface du sol, suivant la pratique du paillage. Ces résidus freinent l'écoulement de l'eau suivant la pente et favorisent sa pénétration dans certains cas, il se peut qu'il y ait des couches en profondeurs qui empêchent l'infiltration de l'eau. Pour cela, il est conseillé d'utiliser un sous-solage profond, mais à faible fréquence (Kelkouli m ; 2008). Par ailleurs, en plus de ces techniques de maintien de l'humidité du sol, il est intéressant de travailler le sol suivant les courbes de niveau pour empêcher l'écoulement de l'eau vers le bas.

4. Techniques de réduction des pertes d'humidité du sol

Il est clair que, le premier objectif des techniques culturales après celui de donner à la plante les meilleures conditions de développement racinaire, est de travailler le sol de façon à ce que l'eau de pluie ou d'irrigation soit absorbée au maximum. Pour atteindre cet objectif, certaines actions doivent être prises en considération telle que : Limiter ou minimiser les pertes d'humidité qui se produisent soit par évaporation à la surface du sol, soit par transpiration de la plante, ou encore, par percolation en profondeurs, au-delà de la zone racinaire. Selon (Boiffin, 1990), le meilleur moyen de réduire les pertes par percolation en profondeur est de maintenir une culture sur le sol. Une des méthodes permettant de limiter l'évaporation, consiste à préparer une mince couche de sol, pour produire un écran en surface bien émietté qui inhibe la montée par capillarité de l'eau vers la surface. Selon des travaux (FAO, 1972), le travail du sol sur 12 à 15 cm de profondeur favorise les pertes par évaporation. Donc, les sols très meubles et aérés sont exposés à une forte évaporation. D'autres mesures sont recommandées pour maintenir l'humidité dans le sol : entre autre, détruire ou empêcher les mauvaises herbes de pousser, que ce soit, entre les cultures ou dans les cultures sur pied. Ainsi, ce désherbage mécanique souvent réalisé par des façons aratoires représente un des buts recherchés de la préparation du sol. Cette méthode peut être réalisée par l'utilisation de la jachère travaillée pour emmagasiner le maximum d'eau.

5. Effet du travail du sol sur la conservation de l'humidité du sol

Tel que ça été mentionné précédemment, le travail du sol vise à améliorer la structure du sol, en utilisant les outils appropriés aux bons moments. Ceci, s'opère en modifiant la taille des mottes et leur cohésion sur des profondeurs données. Généralement, on cherche par le travail du sol à changer l'état de la structure initiale du sol compacte et imperméable à une structure poreuse, grumeleuse profonde (Soltner, 1977), permettant une meilleure circulation de l'eau et l'air, faciliter la germination et le développement racinaire de la plante. Selon Barthelymy, 1987, le choix des outils du travail du sol est fonction ou dépend du degré d'humidité du sol au moment de l'intervention. En effet, l'humidité indique l'aptitude du sol à être travaillé et la qualité du travail recherché. L'état hydrique d'un sol avant l'utilisation des outils est déterminant dans la mesure où il est par exemple difficile d'obtenir un émiettement en condition d'humidité excessive, par contre, le contraire est vrai dans des conditions de sols secs. L'humidité excessive est à éviter (Dalleine, 1997), lors de la préparation du sol en raison du risque de provoquer la formation des mottes et laissée des cavités. Par ailleurs, dans des conditions de sécheresse, les racines sont appelées à chercher de l'eau en profondeur, mais l'excès d'eau en surface, peut aussi inhiber la croissance des racines. Cet état de fait, nous conduit à étudier les propriétés du sol et leurs incidences sur le développement de la plante

5.1. Propriétés du sol et leurs effets sur le développement de la plante

Le travail du sol doit être réalisé de façon à permettre au sol d'être mieux aéré pour le développement des racines et la plante. Il permet ainsi d'établir une surface de terre fine laissant pénétrer l'eau de pluie et favorable à la réception des graines et leur germination. Actuellement, dans plusieurs régions du monde, les agriculteurs pratiquent un labour minimum et peu profond pour conserver leur terre. Les matières végétales qui restent après récolte sont ainsi enfouies moins profondément, ce qui permet de mieux conserver l'humidité de surface et de protéger le sol contre l'érosion. L'accès à l'eau doit être continu et aisé, sa variation est obtenue par action principalement sur la porosité et la densité ainsi que sur les dimensions des agrégats du sol.

5.1.1. La densité apparente

C'est une des propriétés physiques du sol qui permet de nous donner une idée sur les conditions de développement racinaire selon sa texture ainsi que sur le tassement et sur la porosité. Ce qui explique clairement que certain outil après leur passage laissent une meilleure structure du sol permettant un bon développement des racines et d'autres tassent et empêchent la bonne circulation de l'eau dans le sol, par conséquent, les rendements des cultures sont compromis

5.1.2. La compaction

Pour réduire les grandes ouvertures des sols laissées par les labours profonds, certains agriculteurs recherchent le tassement, mais pour une certaine zone et non excessif. (Duthil, 1973), cela permet de refermer et émietter la surface des sols, en présence de mottes et faciliter au dessous de la zone où les graines sont enfouies, la formation d'une structure continue où circule mieux l'eau nécessaire à la germination (Dalleine, 1974 in Benzohra, 1996). Le tassement est aussi recherché pour faciliter parfois l'adhésion et le contact grain sol et permettre une germination et levée homogène, cependant, un tassement excessif peut compromettre la croissance racinaire et diminue l'aération et la circulation de l'eau, donc, avoir des conséquences négatives sur la production agricoles.

5.1.3. La porosité

L'influence de la porosité sur la colonisation du sol par les racines est un des aspects relatifs aux propriétés physiques du sol qui a été le plus étudié (Nicou Et Thirouin, 1967; Maertens, 1964).

Dans le cas de la fléole cultivée en vases de végétation, Callot et al., 1988, affirment avoir pu constater que de faibles variations de porosité, de 40 à 45% étaient suffisantes pour modifier considérablement l'enracinement, passant respectivement de 1,3 à 2,10 grammes de racines sèches par kilogramme de sol.

Les différences d'élongation dues à la porosité sont très importantes. Nous avons observé des longueurs moyennes des racines de 10,88 cm pour une porosité de 50% et de 6,48 cm pour une porosité de 35%. Pour chacune de ces valeurs de porosité, la longueur des racines augmentait avec le taux d'humidité, du fait de l'action de cette dernière sur la résistance mécanique du sol. Dans les conditions de l'essai dirigé par Callot, Callot et al., 1988, l'élongation des racines d'orge est indépendante de la porosité libre à l'air, et donc liée à la résistance mécanique. Cette dernière varie non seulement avec la porosité, mais également avec le taux d'humidité du sol.

La variation de ce paramètre important, la porosité, est réalisée avec l'action mécanique des outils aratoires. Les techniques culturales classiques offrent une porosité qui est nettement plus importante que celle obtenue avec les nouvelles techniques.

6. La conservation de l'eau dans les rotations du blé sous différents techniques de travail de sol

Le blé après jachère utilise l'eau d'une manière plus efficace que le blé sur blé, particulièrement, la jachère travaillée au printemps, elle permet d'enfouir les mauvaises herbes, de couper la capillarité et de conserver l'eau des pluies d'hiver. Le non labour est le non trouble du sol dans la période sèche après la récolte fût une exigence pour une bonne jachère. Dans les régions du semi-aride, l'amélioration de la conservation de l'eau est le premier objectif d'amélioration du rendement. Les méthodes permettant d'atteindre cet objectif sont spécifiques à l'environnement ; les modèles du climat, sols et cultures sont interdépendants dans un système particulier. Le labour est probablement le plus vieux moyen utilisé pour l'emmagasinement de l'eau dans le sol et les pseudos labours permettent sa conservation. Le contrôle de la mauvaise herbe pendant jachère est obligatoire pour conserver l'humidité dans le sol (Wies et Staniforth, 1973; Fenster 1977). Pour une longue période ce contrôle fut accompli par labour avec une gamme d'outils. Aujourd'hui, celui-ci est réalisé chimiquement; le résultat : plus de stockage de l'eau (Fenster et Paterson, 1979; Smika et Unger 1986). Le tableau 10 montre les progrès des systèmes jachère concernant le stockage de l'eau et les rendements du blé

Tableau 10 : progrès des systèmes jachère concernant le stockage de l'eau et les rendements du blé.

Années	Jachère labourée (*)	Stockage de l'eau en jachère		Rendements Kg/ha
		Quantité (mm)	% de précipitation	
1916 1930	Labour normal Laboure, herse (broyage de la paille)	102	19	1070
1931 1945	Labour conventionnel; peu profond, disque, extirpateur	118	24	1160
1945 1960	Labour conventionnel amélioré Paillage de chaume a commencé en 1957	137	27	1730
1961 1975	Paillage de chaume, le labour minimum avec les herbicides a commencé en 1969	157	33	2160
1976 1983	Projet évaluation du labour minimum, Le non labour n'a commencé qu'en 1983	183	40	2690

Source :(Bouzza, 1991)

Le couvert végétal durant la période de jachère et les stades de développement des plantes sont aussi un facteur important pour la conservation de l'eau; souvent plus que le labour (Unger, 1978). Bien que le non labour à montrer son efficacité pour la conservation de l'eau, l'adoption de ce système n'était pas répandue durant cette même époque. L'USDA (le Département d'Agriculture des Etats Unies d'Amérique) a estimé en 1978, que pour l'année 2000, 65% du blé seront produits sous le système du non labour (Smika, 1981).

6.1. Effet du travail conventionnel

Le labour associé à la jachère est aussi considéré comme un système annuel pratiqué pour la conservation de l'eau. La conservation de l'eau est devenue possible par l'amélioration de l'infiltration, la réduction de l'évaporation et la suppression de la transpiration indésirable. Dans les grandes plaines centrales d'Amérique, le stockage d'eau par la jachère chimique est plus que de tous autres types de jachère (Fanster et Paterson, 1979). Plus il y a les résidus à la surface du sol, plus le stockage de l'eau est grand (Unger, 1978). Smika (1983) a affirmé que la paille devrait être enlevée pour diminuer la vitesse du vent, et aussi l'évaporation.

L'étude citée par Burnet et Hauser (1968) montre que le développement de la plante augmente en profondeur uniquement là où le développement racinaire et le mouvement de l'eau sont limités par la densité, la compaction et les couches fines de la texture du sol. La croissance de la plante est inhibée si le développement des racines et les eaux sont limités.

Dans les régions où l'eau est rare le travail profond est important pour permettre un développement rapide des racines. Où l'eau limite, le labourage plus profond peut accroître un développement de la racine rapide, en reliant de cette façon des racines à l'eau entreposée dans le sol profond. Où de tel processus pourrait se produire, il aiderait la récupération de l'eau " fossilisée " et réduit l'écoulement dans les années humides dans un système du recyclage de la jachère. Il est reconnu généralement que le labour profond améliore la pénétration de l'eau (Robertson et al., 1977) (Saxton et al., 1981).

6.2. Effet du travail minimum

Un nettoyage du sol suivi du désherbage mécanique est une méthode très fréquente dans la jachère au Nord-ouest pacifique. Cela résulte d'un paillage du sol durant les semis sans couvert des résidus des végétaux. Papendick et al. (1973) ont montré qu'il y a une interface tranchante entre le paillage du sol et le sol plein sous-jacent réalisé par l'extirpateur.

La vapeur d'eau et le transfert du liquide sont restreints par le paillage du sol. L'eau liquide se déplace du bas en haut à l'interface du sol- paillage pleine et un flux de la vapeur se déplace vers le bas de la couche du paillage du sol chaude et sèche. Cette chaleur combinée et courante de l'eau fournit la conservation de l'eau totale et entretient l'humidité du sol en profondeur au semis précoce. Le paillage du sol est aussi préconisé en Australie par Holmes et al. (1977) comparé au non labour ou mottes grossières à la surface. Plus récemment, la première année de recherche a montré en Pullman, Washington indique le système du non labour améliore la conservation de l'eau du sol (Saxton et al., 1981).

6.3. Effet du semis direct

La ressource eau demeure le facteur limitant la production céréalière en zone semi-aride marocaine. L'isolement de la surface du sol par un mulch de résidus végétaux provoque un ombrage du sol, réduit la turbulence éolienne et limite les échanges entre le sol et l'atmosphère. La limitation des transferts thermiques et hydriques entre le sol et son milieu ambiant extérieur favorise l'accumulation de l'eau et retarde l'évaporation et le réchauffement du sol.

Le semis direct sauvegarde l'eau en améliorant l'infiltration. Avec l'amélioration des propriétés de rétention d'eau du sol sous semis direct, plus d'eau sera stockée.

Conclusion

La matrice du sol est un système complexe d'agrégats et de particules de taille et de forme différentes. L'eau est retenue dans le sol par des forces qui dépendent du diamètre et de la forme de pores, le rapport entre la force de rétention et le taux d'humidité du sol est exprimé par une courbe, appelée courbe pF. Le travail du sol aura principalement une influence sur les pores les plus larges, les petits se trouvant normalement dans des petits agrégats individuels, ils ne sont pas facilement modifiés par le travail du sol (Hoogmoed, 1997). La rétention en eau dans le sol est fonction des caractéristiques propre au sol, parmi les plus importantes, on peut citer la contribution directe des constituants du sol tels que les argiles, les matières organiques et les oxydes (Biggore et al, 2000). La capacité en eau est l'une des premières conséquences de la texture de sol, c'est un facteur fondamental de la fertilité physique.

Conclusion de la partie bibliographique

La synthèse bibliographique montre qu'il apparaît que les systèmes de travail du sol à faibles profondeurs voir sans travail du sol sont plus intéressants dans les régions Algériennes vue qu'elles sont en grande partie semi-arides, que d'autres types d'outils pour la conservation de l'eau. Leurs principaux avantages sont :

- Former une surface motteuse et cahoteuse dans le but d'améliorer l'absorption de l'humidité et de réduire le ruissellement et l'érosion par l'eau et par le vent.
- Produire un tassement de sol sous-jacent pour maintenir son humidité en surface.
- Détruire les mauvaises herbes et faciliter les façons superficielles pour la préparation du lit de semence et de semis.

Il est clair que, le premier objectif des techniques culturales après celui de donner à la plante les meilleures conditions de développement des racines, est de travailler le sol de façon à ce que l'eau de pluie ou d'irrigation soit absorbée au maximum. Pour atteindre cet objectif, certaines actions sont à recommandées tel que minimiser les pertes d'humidité par évaporation à la surface du sol ou par transpiration de la plante, ou encore, par percolation en profondeurs, au-delà de la zone racinaire. Cela peut se réaliser en préparant une mince couche de sol, pour produire un écran en surface bien émietté inhibant la montée par capillarité de l'eau vers la surface. Tel que ça été mentionné précédemment, le travail du sol vise à améliorer la structure du sol, en utilisant les outils appropriés aux bons moments. Ceci, s'opère en modifiant la taille des mottes et leur cohésion sur des profondeurs données.

Généralement, on cherche par le travail du sol à changer l'état de la structure initiale du sol compacte et imperméable à une structure poreuse, grumeleuse profonde (Soltner, 1977), permettant une meilleure circulation de l'eau et de l'air, faciliter la germination et le développement racinaire de la plante.

Les résultats de la synthèse bibliographique montrent que l'impact environnemental des TCSL qui peuvent inclure plusieurs passages d'outils, certains réalisant un travail superficiel et d'autres un travail profond sans retournement du sol, par opposition au labour, ils peuvent aussi correspondre à du semis direct qui exclut tout travail du sol et se limite au semis peuvent être bénéfiques pour la préservation du milieu et négatifs sur certains points. Toutefois, il existe des solutions techniques pour supprimer certains impacts négatifs. Ces solutions nécessitent des connaissances, de l'expertise, de l'accompagnement et de l'adaptation locale.

Cela nous a poussés à orienter notre travail avec les objectifs suivant :

- Analyse de l'effet des différentes techniques culturales sur l'humidité du sol, la porosité, et la résistance mécanique en s'appuyant sur les courbes.
- Analyse des différentes corrélations entre les paramètres étudiés.
- Analyse des composantes du rendement pour chaque technique et traitements.
- Analyse du taux de matière organique et des mauvaises herbes.

Ce travail est une contribution à faire ressortir les effets du travail du sol et des techniques sans labour sur les propriétés physique et mécanique du sol et leurs répercussions sur le rendement et ses composantes et d'établir l'importance du semis direct pour l'obtention d'une bonne rétention en eau qui conduit au bon développement de la plante.

Partie expérimentale

Introduction de la partie expérimentale

Amortir la dégradation de ressources naturelles et assurer la sécurité alimentaire, constituent l'un des défis majeurs de l'Algérie. Pour atteindre cet objectif, il est plus que jamais impératif de revoir les modes d'utilisation des terres et assurer un développement durable (Mrabet, 2001).

Au niveau mondial, l'impact du travail du sol sur l'environnement est fréquemment mis en avant dans de nombreux pays. En effet, dans des contextes pédoclimatiques très sensibles à l'érosion, le labour ou de nombreux passages d'outils de travail du sol peuvent avoir des impacts négatifs sur la protection des sols et de l'environnement.

Pour y remédier une nouvelle approche visant à renverser le processus de dégradation des sols, l'amélioration de la production et la préservation de l'environnement est actuellement testée et utilisée en Algérie, c'est l'agriculture de conservation. Cette dernière repose sur une forte réduction des passages d'outils de travail du sol, voire sur du non travail du sol et la protection par une couverture végétale constituée de résidus et de paille, impliquant ainsi le semis direct et les techniques culturales simplifiées. Leur impact sur le rendement y est fréquemment décrit de manière positive.

Dans cette perspective, il a été initié un programme de recherche sur le semis direct en Algérie et il a été décidé de mettre en place un essai expérimental de longue durée depuis 2004 afin de tester ce nouveau système dans les conditions algériennes.

L'objectif de notre expérimentation qui est à sa cinquième année est d'étudier les résultats d'essais de trois modalités d'installation d'une culture de blé voir le travail conventionnel, le travail minimum et le semis direct et leur influence sur les propriétés du sol et surtout la conservation de l'eau dans le sol, qui selon (Bouzza, in Karrou, 2001) est l'un des facteurs clé pour l'amélioration de la production, et de voir bien évidemment leur répercussions sur le rendement et ses composantes, ainsi que le taux de la matière organique et des mauvaises herbes.

De ce fait les paramètres à analysés sont :

- L'évolution de l'humidité ;
- L'évolution de la porosité ;
- L'évolution de la masse volumique apparente ;
- L'évolution de la résistance mécanique ;
- Le taux de recouvrement par les mauvaises herbes ;
- Le taux de matière organique ;
- La hauteur des tiges ;
- Le nombre d'épi par mètre carré ;
- Le nombre d'épillets par épi ;
- Le nombre de grains par épi
- Le poids de mille grains ;
- Le rendement théorique et parcellaire.

Chapitre I : Localisation et conditions expérimentales

1. Présentation du milieu d'étude

1.1. Conditions pédoclimatiques du milieu d'étude

1.1.1. Situation géographique

Nos données ont été réalisées au niveau de la station expérimentale de l'ITGC qui fait partie de la commune d'Oued Smar, daïra d'El Harrach wilaya d'Alger. La station se situe à l'Est d'Alger et au nord de la plaine sublittoral de la Mitidja.

Ses coordonnées géographiques sont les suivantes : 3°08' de longitude Est et 36°43' de latitude nord. Elle se trouve à 24 m au-dessus du niveau de la mer ; entre les isohyètes 600 mm et 700 mm. Elle appartient à l'étage bioclimatique subhumide à hiver doux.

Elle occupe une superficie de 55 ha environ, les activités principales sont centrées sur la céréaliculture, les légumes secs et le fourrages.

1.1.2. Conditions climatiques du site

La station expérimentale de l'Institut Technique des Grandes Cultures appartient au climat méditerranéen qui est caractérisé par des hivers doux et humides ainsi que des étés chauds. La région d'EL Harrach est caractérisée par les mêmes données géomorphologiques et la même histoire géologique que celle de la Mitidja.

D'après (Mutin 1977), la région d'El-Harrach serait une formation continentale de marnes jaunes collantes, d'argiles graveleuses ainsi que de quelques lits graviers, grès et sables. Par ailleurs, (Glangeaud 1932) in (Mutin, 1977) trouve qu'elle serait constituée essentiellement d'alluvions et de dépôts marins récents.

Selon les données climatologiques de (Seltzer 1946), le climat de la région d'étude est de type méditerranéen appartenant à l'étage bioclimatique subhumide. Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson figure 12 calculé pour la période allant de 1984 à 2008, montre l'existence d'une saison humide et relativement froide qui s'étend sur sept (07) mois (2^{ème} quinzaine de Septembre au mois d'Avril) et d'une saison sèche et chaude dans le reste de l'année. En ce qui concerne le pédoclimatique, selon les travaux de (Newhall 1976) in (Abib et Haddad, 1995), le régime de température est de type thermique, alors que le régime hydrique est de type xérique.



Figure 12 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls Et Gaussen (La région d'EL-Harrach)

1.1.2.1. Conditions climatiques des campagnes d'essais 2007/2008

Tableau 11 : Conditions climatiques de la campagne 2007/2008

	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	Aout	annuel
PJ max (mm)	12,1	48,9	71	27,3	15,3	13,2	22,3	12,3	30	8,6	2	0	71
Nbr jrs pluv.	5	14	15	10	6	6	8	3	10	3	1	0	81
Totaux (mm)	17,8	172,3	236,6	73,8	27,8	22,4	76,6	18,4	67,8	9,2	2	0	724,7

Source : A.N.R.H

Comme l'indique le tableau 11 la pluviométrie de cette campagne à été relativement bonne proche de la normale, la moyenne de la région étant estimée à 724 mm au total, pour une normale de 749 mm, soit un petit déficit

En effet, il a été observé 427.6 mm de pluie, entre septembre et novembre, quantité suffisante pour la reconstitution de la réserve utile en eau du sol. C'est les semis qui ont bénéficiés les plus par cette quantité de pluie, en particulier celle du mois de novembre où nous avons enregistré 236.6 mm contre une normale de 116.06 mm, soit un excédent de 120.54 mm.

1.1.2.2. Conditions climatiques de la campagne 2008/2009

Tableau 12 : Conditions climatiques de la campagne 2008/2009

	Sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	annuel
PJ max (mm)	34,8	14,6	33,5	31,4	27	4,8	21	19	13	0	3,5	1,3	34,8
Nbr jrs pluv	9	10	14	13	18	7	9	13	5	0	1	3	102
Totaux (mm)	84	47,7	167,2	184	134,1	16,5	67,4	90,7	31,8	0	3,5	2,6	829,5

Source : A.N.R.H

Le tableau 12 montre qu'en premier lieu, la quantité de pluie enregistrée dans cette campagne est largement supérieure à la normale, 829,5 mm contre 757 mm la normale

de la région, d'après (ANRH, 2010) sur 59 ans, soit 9% d'excédent. Néanmoins, ce que nous avons constaté, est que sa répartition a été très régulière dans le temps. En effet, on a enregistré 299 mm durant les mois de septembre, novembre, et décembre contre 242 mm la normale. Alors que l'hiver était excédentaire de 6%. Enfin, le printemps, on enregistre un excédent allant jusqu'à 70% par rapport à la normale.

1.1.2.3. Conditions climatiques de la campagne 2009/2010

Tableau 13 : Conditions climatiques de la campagne 2009/2010

	Sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
PJ max (mm)	18,4	13	22,5	20,5	52,3	14,3	53,6	18,4	23	8	3,5	3
Nbr jrs pluv.	8	3	6	9	12	10	9	8	10	3	2	3
Totaux (mm)	83,7	21,5	72,2	107,9	78,9	70,8	118,3	83,7	67,8	13	6,5	5,6

Source : A.N.R.H

Cette année encore comme l'indique le tableau 13 la pluie enregistrée n'a pas dépassé les moyennes, c'est juste 177 mm en automne contre 316 mm la normale de la région, ce qui représente 27% de déficit. La plus importante quantité de pluie a été reçue entre le mois de janvier et le mois de mars, après cela, il y a eu un printemps sec, donc, une mauvaise répartition pour la culture qui a souffert durant la fin du cycle.

Ce qui est remarquable pour l'incidence du climat sur la culture, ce n'est pas l'insuffisance ou la mauvaise répartition, ni même l'absence de pluie durant la fin de campagne (avril, mai), mais, c'est surtout les hautes et exceptionnelles températures enregistrées durant la première décade du mois de mai, qui ont provoqué l'échaudage pour les variétés précoces et l'arrêt de formation de grains pour les variétés tardives, par conséquent, une chute de rendement considérable.

1.1.2.4. Conditions climatiques de la campagne 2010/2011

Tableau 14 : Conditions climatiques de la campagne 2010/2011

	Sept	Oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	Total
Pm(mm)	14,3	160,1	109,6	70,6	66,3	119,8	33,9	66,2	67,6	19,0	727,4
T° min	18,4	14,6	11,6	7,5	6,5	6,2	11,9	12,1	14,75	17,2	
T° max	28,5	24,6	20,2	18,1	16,3	17,4	19,6	22,5	24,87	27,1	
T° moy	23,5	19,6	15,9	12,8	11,4	11,8	15,75	17,3	19,81	22,1	

Source : Station météorologique de l'ENSA (2010-2011)

Le total des précipitations enregistrées durant la campagne 2010-2011 est de 727,4 mm avec une variabilité dans la répartition. En effet, après un mois de septembre relativement sec (14,3 mm) les pluies d'octobre, novembre et décembre (160,1mm, 109,6 mm et 70,6 mm) ont été abondantes ce qui a retardé la finition du lit de semence et le semis à cause du lent ressuyage. Néanmoins, cette quantité d'eau a permis un bon approvisionnement en eau du sol et donc assurer un bon développement de la culture (tableau 14).

Il faut noter que le mois de janvier qui coïncide avec la mise en place de notre essai peut être qualifié de sec en raison de la faible pluviométrie enregistrée : 66,3 mm.

Nous signalerons également que les précipitations qui ont été enregistrées pendant les derniers mois, ont abouti à des dégâts mécaniques sur la végétation comme la verse en particulier.

Les températures moyennes de cette campagne varient de 17,3°C à 22,1°C, la gamme des températures minimales varie entre 12,1°C et 17,2°C et celle des températures maximales varie de 22,5°C à 27,1°C, donc nous n'avons pas d'importants écarts de températures

1.2. Caractéristiques pédologiques de la parcelle d'essai

Les résultats des analyses granulométrique du sol effectuées pendant les années précédentes montrent que le sol de notre parcelle d'essai est de type argilo-limoneux selon le triangle des textures (HENIN, 1969), avec une teneur en argile de plus de 35%, la réaction du sol y est voisine de la neutralité (PH=6-6,6).

Chapitre II : Matériel et méthodes

1. Protocole expérimental

1.1. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est un bloc aléatoire complet avec 4 répétitions.

Le traçage des blocs et les parcelles élémentaires ont été fait le 09-12-2010, avec un respect minutieux du protocole expérimental théorique.

1.2. Facteurs étudiés et leurs niveaux

Le facteur à étudier est la technique de travail du sol avec trois niveaux.

Niveau 1 (Travail conventionnel) : charrue bisoc + cover-crop + herse rotative.

Niveau 2 (Travail minimum) : cultivateur + herse rotative.

Niveau 3 (Semis direct): Passage du semoir direct sans travail du sol.

Les facteurs contrôlés sont les répétitions ou les blocs avec quatre niveaux de symboles (B1, B2, B3 et B4).

1.3. Objets de l'expérimentation

Nous avons trois techniques de préparation du sol par bloc, avec quatre répétitions ce qui nous donne douze parcelles élémentaires par essai. La distribution des différentes parcelles s'est effectuée au hasard.

1.4. Observations et mesures

L'étude expérimentale a été réalisée avec les mesures suivantes :

- L'évolution de l'humidité ;
- L'évolution de la porosité ;
- L'évolution de la masse volumique apparente ;

- L'évolution de la résistance mécanique ;
- Le taux de recouvrement par les mauvaises herbes ;
- Le taux de matière organique ;
- La hauteur des tiges ;
- Le nombre d'épi par mètre carré ;
- Le nombre d'épillets par épi ;
- Le nombre de grains par épi
- Le poids de mille grains ;
- Le rendement théorique et parcellaire.

1.5. Caractéristiques de l'unité expérimentale

- Les dimensions des parcelles sont :

* Surface totale : 1800 m² ;

* Longueur totale de la parcelle 50 mètres ;

* Largeur totale de la parcelle 36 mètres ;

* Longueur de la micro parcelle 50 mètres ;

* Largeur de la micro parcelle 09 mètres ;

* La surface de la micro parcelle 450 mètres ;

* Ecartement entre micro parcelles 0,5 mètres.

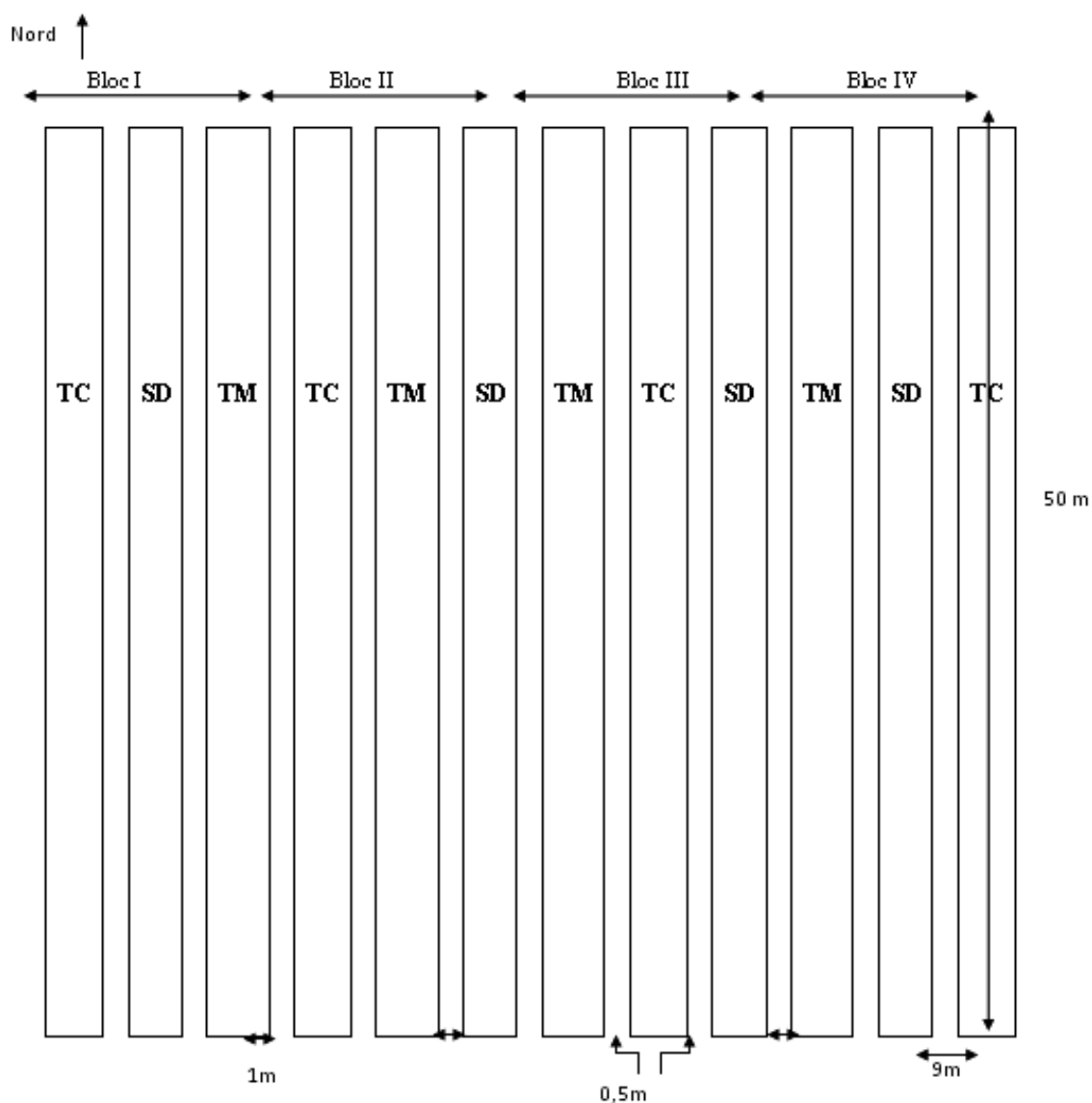


Figure 13 : Schéma du dispositif expérimental.

- TC** : Travail conventionnel
TM : Travail minimum
SD : Semis direct

2. Matériel d'étude

2.1. Matériel de traction

Le tracteur utilisé pour toutes les opérations est le tracteur TORPEDO TYPE TD 68 qui a les caractéristiques suivantes :

- Puissance : 50 kW (DIN) 68 CV
- Nombre de cylindres : 4 cylindres en ligne
- Cylindrée : 3768 cm³

- Régime de la prise de force : 540 – 1000 tr/min
- Empattement : 2150 mm
- Poids total à vide : 2710 kg
- Poids total autorisé en charge : 5000 kg



Figure 14 : tracteur TORPEDO TYPE TD 68.

2.2. Matériel de travail du sol

2.2.1. Charrue

Le labour a été réalisé avec une charrue bisocs qui a les caractéristiques suivantes :

- Type : portée
- Profondeur de travail : 25 à 30 cm
- Poids : 240 Kg
- Largeur de travail : 75.5 cm



Figure 15 : charrue bisoc.

2.2.2. Cultivateur

On a utilisé comme outil à dents le cultivateur à dents rigides, il permet de briser les mottes résiduelles laissées par le Cover-crop et ainsi d'affiner le lit de semence. Il est caractérisé par :

- Largeur de travail : 275 cm
- Nombre de dents : 11
- Type : porté
- Profondeur de travail : 18 jusqu'à 25 cm
- Poids : 340/370 kg



Figure 16 : cultivateur a dents rigides.

2.2.3. Roto Herse

Afin d'affiner les mottes laissées après passage de la charrue, nous avons utilisé une Roto Herse caractérisée par :

- Largeur de travail : 300 cm
- Diamètre de la cage roulante : 30 cm
- Type : Porté
- Poids : 400 Kg



Figure 17 : Roto Herse

2.2.4. Cover-crop

Afin d'effectuer la reprise du labour nous avons utilisé un Cover-crop caractérisé par :

- Nombre de disques : 16 (2×8)
- Type : traîné
- Diamètre du disque : 610 mm
- Poids : 640 Kg
- Largeur de travail : 180 cm



Figure 18 : le Cover-crop

2.3. Matériel de semis

Deux semoirs ont été utilisés, le premier pour la travail conventionnel et minimum, et le second pour le semis direct.

2.3.1. Travail conventionnel et minimum

Pour le travail classique et minimum nous avons utilisé le semoir en ligne : AGRIC PSM 30. Les graines sont stockées dans une grande trémie. Elles sont mises en terre par des petits socs. L'écartement entre les éléments de semis est très faible (15cm) afin d'assurer une bonne densité de semis. Pour passer de la trémie aux éléments de semis, la graine est transportée par densité (ou par gravité) après passage dans un dispositif de tri par rouleau (semoir mécanique).

- ✚ Largeur de travail : 3m.
- ✚ Nombre d'éléments distributeurs : 19.
- ✚ Distance entre organes : 15cm.
- ✚ Système de distribution : à cannelures.
- ✚ Poids : 419Kg.



Figure 19 : le semoir en ligne AGRIC PSM 30

2.3.2. Semis direct

Le semoir utilisé pour le semis direct est le SEMEATO SHM 13, le semis direct consiste à implanter les graines sans aucun travail du sol, directement sur les chaumes. L'objectif de cette technique est de limiter le nombre de passages d'outils. Ces semoirs sont conçus sur le même principe que les semoirs en ligne mais les disques et les socs ont une action plus agressive que sur les engins classiques. La pression sur ces éléments est aussi plus importante afin de pénétrer dans la terre peu travaillée. Les caractéristiques du semoir sont :

- ✚ Largeur de travail : 2,40 m.
- ✚ Système de distribution : à cannelures.
- ✚ Nombre d'éléments distributeurs : 13.
- ✚ Distance entre rang 18 cm.
- ✚ Volume de la trémie : 270 L.
- ✚ Poids : 1 870 Kg.



Figure 20 : le semoir direct SEMEATO SHM 13

2.4. Matériel de lutte chimique

La lutte chimique a été effectuée avec un pulvérisateur à jet projeté, au régime de la prise de force de 540 tr/mn. Ses caractéristiques sont les suivantes :

- Capacité : 400 L ;
- Nombre de buses : 18 ;
- Largeur de travail : 9m
- Type de buses : à fentes
- Type : porté



Figure 21 : Pulvérisateur à jet projeté.

2.5. Matériel végétal

La variété utilisée est la « Chen' S ». Ses caractéristiques morphologiques et phénologiques sont semblables à la variété Waha (Benbelkacem et Kellou, 2004),

- Catégorie : G1
- Année de récolte : 2009- 2010
- Zone d'adaptation : sublittoral, Hauts plateaux, zones semi-aride, aride et saharienne
- Cycle de développement : précoce
- Capacité de tallage : moyenne à forte
- Modérément résistante aux rouilles jaunes, brunes et noires
- Résistance à la verse
- Faculté germinative : 71 %
- Densité de semis : 120 kg/ha correspondant à 300 graines/m²
- La profondeur de semis est de 05 cm



Figure 22 : Variété Chen'S

2.6. Matériel d'expérimentation

Le matériel utilisé sera évoqué à chaque opération réalisée. Il s'agit particulièrement :

- D'une tarière pour prélèvement d'échantillons
- D'un pénétromètre mécanique

3. Conduite et suivi de l'étude expérimentale

3.1. Précédent cultural

Le précédent culturel était une légumineuse fourragère « vesce », un excellent précédent pour le blé.

3.2. Préparation du sol

Les essais ont été réalisés dans une parcelle de 1800 m² divisée en douze micros parcelles

Travail conventionnel : Un labour réalisé le 12-12-2010 avec une charrue bisoc réversible et un passage du cover crop + herse rotative pour le travail superficiel le 09-01-2011

Travail minimum : Deux passages du cultivateur, le 1^{er} le 12-12-2010 et le 2^{eme} le 09-01-2011, et un passage de herse rotative réalisé le 09-01-2011

Semis direct : Sans préparation du sol, un désherbage par l'application d'un herbicide total Glyphosate (RONDP UP) sur couvert végétal à une dose de 61 unité/ha le 12-12-2010

A noter que la préparation de lit de semence a été effectuée dans des conditions relativement humides. Le sol n'était pas assez ressuyé vu la fréquence importante de pluie durant la période précédente, ceci a été constaté surtout sur les parcelles du semis direct où les résidus de la culture précédente ont retardé le réchauffement et l'assèchement du sol, ce qui entravé la mise en place du blé entraînant une levée hétérogène de ce dernier

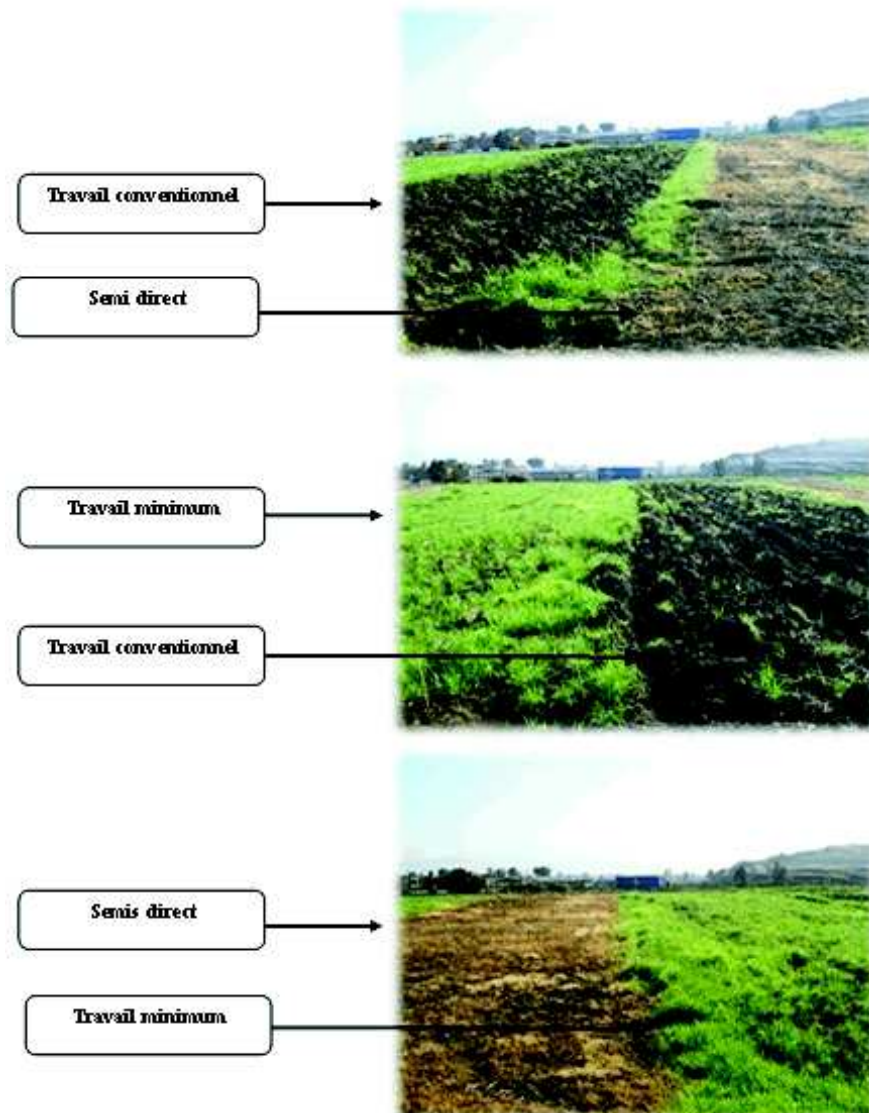


Figure 23: Parcelles sous différentes techniques de travail du sol avant semis

3.3. Le semis

Réalisé le 09-01-2011 à l'aide d'un semoir classique pour le travail conventionnel et travail minimum et avec un semoir spécial conçu pour le semis direct, à une dose de 120Kg/ha.

3.4. La fertilisation

*Engrais de fond : Un apport de TSP (Super Triple de Phosphate) a été réalisé le 12-12-2010 à raison de 2q/ha, soit 92 unités de P_2O_5 .

*Engrais de couverture : Un apport d'engrais azoté (Urée 46%) a été effectué le 08-02-2011 à raison de 35 u/ha.

3.5. Désherbage chimique

Nous avons utilisé en premier temps le Zoom-Topic nom de la matière active. Et pour remédier à la non efficacité de celle-ci nous avons traité par un herbicide comportant une association de matière active : Mesosulfuron Méthyl, Iodosulfuron Méthyl Sodium et Mefenpyr Diethy (CHEVALIER) le 24-03-2011. Le matériel utilisé est un pulvérisateur à jet projeté.

3.6. Récolte

C'est l'humidité du grain qui a servi comme critère pour déterminer la maturité du blé. Elle est comprise entre 18-20%. La récolte a été entamée le 27-06-2011 avec une moissonneuse batteuse séparément pour chaque parcelle élémentaire.

4. Techniques et méthodes de mesure

4.1. Les mesures relatives au sol

4.1.1. L'analyse physique du sol

Chaque échantillon recueilli est mis dans un sac en plastique qui porte un code relatif à l'horizon et au profil auxquels il correspond. Les échantillons, une fois séchés à l'air libre, broyés puis tamisé à 2 mm, ont subi une série d'analyses physiques, chimiques et biologiques au laboratoire du département de science du sol (ENSA) et laboratoire d'agro pédologie (Annexe de l'ENSA).

Les analyses effectuées au laboratoire et leurs méthodes sont présentées dans le tableau ci-dessous. (Tableau15).

Tableau 15 : Analyses de laboratoire et leurs méthodes

Analyse		Méthodes
Physiques	Granulométrie	Méthode par sédimentation
Biologique	Carbone organique	Méthode ANNE
	Matière organique	C% x1 ,72
	Azote total	Méthode KJRLDHAL
Chimiques	Calcaire total	Méthode volumique avec le calcimètre de BERNARD
	PH eau	Méthode potentiométrique avec un pH-mètre, Le rapport sol/eau= 1/2 ,5
	Conductivité électrique	Conductivimètre, rapport sol/eau =1 /5
	Phosphore assimilable	Méthode OLSEN
	Potassium assimilable	Extraction par l'acétate d'ammonium
	Bases échangeables Ca ⁺⁺ , Mg ⁺ , K ⁺ et Na ⁺	Extraction par l'acétate d'ammonium à pH=7
	C.E.C	Méthode à l'acétate de sodium

La détermination de la classe texturale est faite à l'aide du diagramme des textures de la classification américaine U.S.D.A.

4.1.2. Détermination de la teneur en eau du sol

La teneur en eau du sol est l'un des facteurs les plus importants pour le développement des cultures, toutefois, la quantité doit être juste suffisante, car l'excès ou le manque peut être néfaste.

Contrairement aux caractéristiques de la phase solide dont la détermination s'effectue en majeure partie en laboratoire sur des échantillons de sol, la mesure de la teneur en eau, ainsi que celle d'autres caractéristiques liées au comportement de la phase liquide du sol, peut être réalisée soit in situ, soit au laboratoire. Le principal avantage de la mesure en laboratoire tient à une meilleure précision et son principal inconvénient à une représentativité plus faible, la situation étant inversée dans le cas de la mesure sur le terrain.

Pour la détermination de l'humidité du sol, nous avons utilisé la méthode de l'humidité pondérale. Les prélèvements d'échantillons ont été effectués à l'aide de la tarière, sur chaque parcelle élémentaire de chaque traitement. Les échantillons sont prélevés dans cinq points de chaque parcelle, chacun des prélèvements à été réalisé à partir de trois horizons : de 0 à 10 cm, de 10 à 20 cm et de 20 à 30 cm.

La méthode de mesure directe de la teneur en eau d'un échantillon de sol s'effectue simplement par pesée avant et après étuvage (un séchage au four à la température de 105° pendant 24h), ces deux valeurs correspondant respectivement à la masse totale de l'échantillon M_t et la masse de fraction solide M_s . La teneur en eau pondérale W vaut alors :

$$W = \left(\frac{P_w}{P_s} \right) \times 100 = \frac{(P_t - P_s)}{P_s} \times 100$$

Avec:

W : taux d'humidité (%)

P_w : Poids de l'eau (g)

P_s : Poids du solide (g)

M_t : Poids total du sol (g)



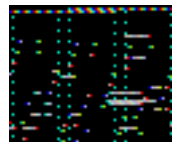
Figure 24 : la tarière.

4.1.3. Mesure de la densité apparente

La densité apparente (généralement exprimée en g/cm^3) indique l'état ou la condition du sol. La porosité (pourcentage d'un certain volume de sol occupé par l'air) peut être calculée à partir de la densité apparente si la densité des particules est connue. Les changements intervenant dans la densité apparente sont aussi utilisés comme indicateurs du comportement du sol soumis à la pression des tests de compactage.

La méthode la plus couramment utilisée et qu'on a utilisée est la Méthode du carottage : la tarière de volume connu (400 cm^3), dont l'extrémité a été aiguisée, est enfoncée de façon mécanique dans le sol (dans trois horizons 10- 20-30 cm) ; puis dégagée en creusant autour.

Les prélèvements d'échantillon pour déterminer la densité apparente ont été pris à partir de trois grands horizons. Donc, 15 échantillons par micro parcelle, ce qui nous donne 180 échantillons au total. Après séchage à l'étuve (à 105°C pendant 24h) l'échantillon est pesé, ce qui permet de calculer la densité apparente qui est en fait un simple rapport masse / volume soit :



Avec :

d_a : la densité apparente (masse volumique sèche)

P : poids de l'échantillon sec;

V : volume de l'échantillon de terre.

4.1.4. Détermination de la densité réelle

La densité réelle du sol est déterminée par la méthode de l'éprouvette ; le principe consiste à verser un certain poids du sol (sol séché à l'étuve à 105° pendant 24h) dans une éprouvette graduée contenant un certain volume d'eau (V_0) connu. Les échantillons sont laissés jusqu'à la disparition de toutes les bulles d'air, soit le volume V_1 .

La densité réelle se calcule alors par la formule suivante :

$$d_r = \frac{P_s}{V}$$

Avec :

d_r : densité réelle (g/cm^3) P_s : poids du sol sec (g) V : volume de l'eau déplacé (cm^3).

4.1.5. Détermination de la résistance pénétrométrique

Le pénétromètre semble être un outil approprié. La mesure de la résistance pénétrométrique qu'il détermine est l'un des indicateurs souvent utilisés pour évaluer rapidement l'ampleur du compactage des sols et la localisation de la zone compacte. L'étude menée par Harrad (2001) 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.



Figure 25 : le pénétromètre

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 étendu, le choix des outils à mettre en œuvre s'avérera de ce fait nettement plus efficace.

La mesure de la résistance pénétrométrique est réalisée par le pénétromètre, le mode opératoire consiste à faire pénétrer le cône dans le sol, la pénétration s'accompagne par un déplacement latéral du marqueur (crayon) inscrivant ainsi une courbe sur une feuille millimétrée.

L'effort exercé par l'utilisateur ainsi que le ressort de pression reste toutefois des paramètres qui influencent le déplacement latéral du marqueur.

Le but de l'utilisation du pénétromètre est la détermination de l'effort de résistance mécanique du sol à la pénétration afin de connaître par un suivi la contrainte qu'oppose le sol à la progression des racines tout au long de leur cycle de vie, et de ce fait l'incidence du travail du sol sur le développement du végétal.

La résistance mécanique du sol ne peut être déterminé sans l'étalonnage du pénétromètre, c'est dans ce contexte qu'on a procédé d'abord au tarage du ressort de notre pénétromètre, le tarage consiste à appliquer différentes charges sur le bras du pénétromètre sur substrat à pénétration nulle (au laboratoire de résistance des matériaux à l'institut national agronomique). Les courbes sont obtenues à partir de charges appliquées et des déplacements correspondants du stylet ; ces dernières sont déterminées au fur et à mesure qu'on augmente les charges.

La courbe d'étalonnage nous permet donc de déterminer la force qui est appliquée sur une surface donnée (surface projetée du cône), ce qui nous permet de calculer l'effort de résistance à la pénétration qui est en fait une pression :

$$P = \frac{F}{S}$$

Avec :

F : effort appliqué (daN) ;

S : surface projetée du cône (cm²) ;

P : Résistance pénétrométrique (daN/cm²).

4.1.5.1. Résultats du tarage du pénétromètre

Tableau 16: Résultats de tarage du pénétromètre.

charge (kg)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Déplacement (cm)	0,4	1.2	2.5	3.1	3.7	5	5.5	5.8	6	6.1

La variation du déplacement en fonction de la charge appliquée donne une courbe de tarage à travers laquelle nous déduisons que le déplacement de 1 cm correspond à une charge d'environ 2,202 daN.

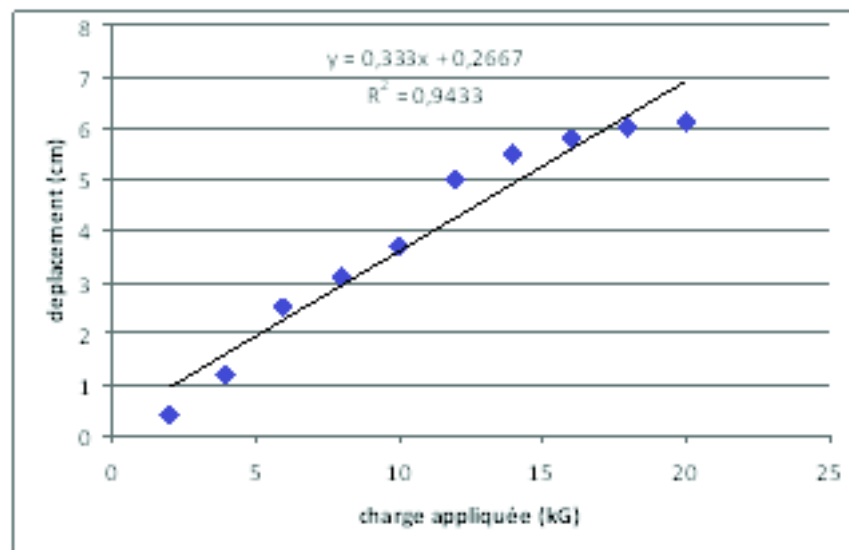


Figure 26 : courbe de tarage du pénétromètre.

Pour obtenir la pression unitaire en daN/cm², on divise la charge trouvée sur la surface projetée du cône (S= 1,767 cm²), l'effort sera alors :

$$P = 1.25 \text{ daN/cm}^2$$

Après avoir obtenu la pression unitaire, on peut maintenant déduire les valeurs de la résistance à la pénétration du sol ou ce sont déroulés nos essais à différentes profondeurs.

4.2. Les mesures relatives à la culture du blé

4.2.1. Mesure du taux de germination

Le taux de germination a été déterminé au laboratoire de génie rural de l'école nationale supérieure agronomique, nous avons fait germer 6 échantillons de 100 grains chacun. Ces derniers ont été mis dans des boîtes de pétri, sur du coton imbibé d'eau distillée et mis à l'étuve à la température de 20°C. Le comptage a été réalisé à deux reprises : le premier après quatre jours et le deuxième après huit jours. Durant la période de germination, nous avons gardé l'humidité constante dans la boîte de pétri pour éviter le dessèchement de l'échantillon. La faculté germinative a été calculée par la relation suivante :

$$\text{taux de germination} = \frac{\text{nombre de grains non germés}}{\text{nombre de grains}} \times 100$$

4.2.2. Mesure de l'hauteur des tiges

Pour cela, sur un échantillon de 15 pieds de blé pris aléatoirement sur chaque placette au niveau des parcelles élémentaires, nous avons effectué les mesures de hauteur, de la base jusqu'à l'extrémité de l'épi. Cette variable nous renseigne sur la croissance en hauteur du blé en fonction de l'itinéraire appliqué.

4.2.3. Mesure du nombre d'épillets par épi

Un comptage du nombre d'épillets fertiles et stériles par épi a été réalisé sur 15 épis par placette au niveau des parcelles élémentaires

4.2.4. Mesure du poids de mille grains

Le comptage du poids de mille grains a été réalisé à l'aide du compte grains électrique. Nous avons pris la moyenne de deux comptages par traitement, ces échantillons ont été pesés par une balance électronique de précision.

4.2.5. Mesure du peuplement épi par mètre carré

Cette mesure a été faite par l'intermédiaire d'une règle linéaire d'un mètre de long. Nous avons identifié trois zones en diagonale de la parcelle, dans chacune de ces zones, nous avons compté deux mètres linéaires (un mètre de part et d'autre de la règle), ainsi nous obtenons la somme totale par zone et le nombre total de toutes les zones.

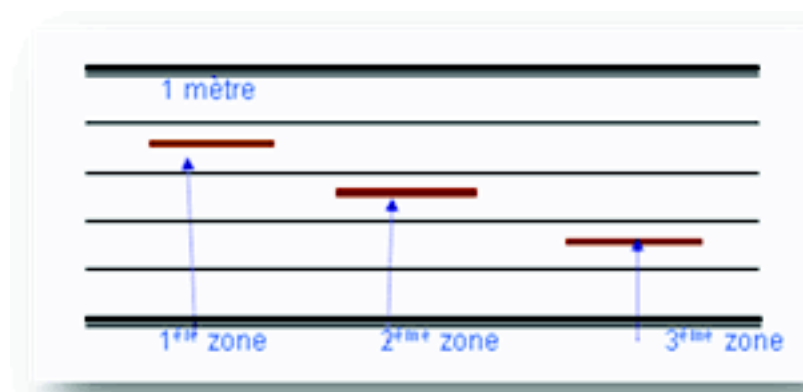


Figure 27: les trois zones de prélèvements des échantillons dans une parcelle élémentaire de six lignes

La figure montre les trois zones de prélèvement, dans une parcelle élémentaire de 6 lignes, avec les deux bordures. Le nombre d'épis au mètre carré par parcelle élémentaire est calculé par la relation suivante :

$$\text{Epi/m}^2 = \frac{NE}{R \times E \times L \times Nz}$$

- **NE** : Nombre total d'épis comptés des trois zones
- **R** : Nombre de ligne d'une zone (dans ce cas, il y a trois)
- **E** : Ecartement entre ligne (0.2 mètre)
- **L** : Longueur de la zone (1 mètre)
- **Nz** : Nombre de zone.

4.2.6. Mesure du nombre de grain par épi

Pour la mesure de ce paramètre, nous avons récolté 10 épis de chaque répétition, cette opération a été effectuée juste avant la récolte. Les prélèvements ont été réalisés d'une manière aléatoire, puis les épis ont été battus par la batteuse électrique à épi, le comptage a été réalisé par le compte grain électrique de précision. Le nombre de grain par épi est égal au nombre de grain total trouvé divisé par 10 épis.

4.2.7. Mesure du rendement estimé en grain

Pour estimer en grains sur les différentes parcelles, nous avons pris deux caractéristiques mesurables à savoir le nombre de grains par mètre carré et le poids de mille grains. La relation qui permet de calculer le rendement selon Boulal.H et Al. (2007) s'écrit :

$$Rdt_{\text{estimé}} = \text{Nombre d'épis/m}^2 \times \text{Nombre de grains/épi} \times \text{Poids de 1000 grains} \times 10^{-3}$$

4.2.8. Mesure du rendement parcellaire

Après avoir récolté tous les épis, nous avons pesé les sacs de chaque parcelle élémentaire à part afin de noter l'impact des différentes techniques de notre essai sur le rendement de la culture.

4.2.9. Evaluation de la densité des adventices

Un comptage des individus par m² est effectué systématiquement à différents stades phénologiques du blé.

4.3. L'analyse statistique

Pour traiter nos données, nous avons eu recours à deux méthodes d'analyse statistiques :

- Analyse de la variance, complétée par la comparaison des moyennes.
- Analyse des corrélations.

4.3.1. 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 (Gouet et Philippeau, 1986).

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 (*).
- (P = probabilité)

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

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel SAS v.9.0.0 et la matrice de corrélation par Excel stat.

4.3.2. 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.

En effet, le coefficient de corrélation est une mesure de l'étroitesse de la relation linéaire entre deux variables. Les valeurs de ce coefficient « r » varie de (-1) à (+1), si :

- $r = 0$: il n'existe aucune relation entre les variables.
- $r > 0$: les deux variables varient dans le même sens.
- $r < 0$: les deux variables varient en sens contraire. Ce cas se rencontre par exemple lorsqu'une culture est soumise à la concurrence d'une mauvaise herbe à densité croissante.

Par comparaison du « r » calculé au « r » de la table de PEARSON à (n-2) ddl, nous avons déterminé s'il y avait signification, c'est-à-dire, la nature des liaisons existant entre les variables retenues par notre étude.

- 0,05 à (n-2) ddl -----> r (* significatif).
- 0,01 à (n-2) ddl -----> r (** hautement significatif).
- 0,001 à (n-2) ddl -----> r (***) très hautement significatif).

Chapitre III : Discussions des résultats de l'effet des techniques de semis sur les propriétés du sol

Introduction

Dans ce chapitre, nous abordons la présentation et l'analyse des résultats qui concernent l'effet des différentes techniques culturales sur la variation de l'humidité du sol, de la porosité et de la résistance pénétrométrique en s'appuyant sur nos résultats illustrés par des courbes. Ensuite nous analysons statistiquement les différentes corrélations entre les paramètres étudiés, on fait une analyse de l'effet de la porosité et de la résistance pénétrométrique sur l'humidité (tous paramètres confondus), nous analyserons statistiquement l'effet de la technique conventionnelle, du travail minimum et du semis direct sur l'humidité et on verra la possibilité de modélisation de l'humidité en relation avec la porosité, la densité apparente et la résistance pénétrométrique.

1. Effet des techniques culturales sur l'humidité

Les taux d'humidité mesurés sur les parcelles tout au long de la campagne, sont issus des précipitations enregistrées lors du suivi, et traduisent la capacité de rétention d'eau de la couche arable du sol soit l'efficacité de la structure mise en place en matière de rétention d'eau. Les résultats de la variation de la teneur en eau du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les trois techniques culturales sont mentionnés sur le tableau 17 et illustrés par la figure 28.

La figure 28 représente la variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les trois techniques

Avec :

S1 : stade levé

S2 : stade tallage

S3: stade épiaison

S4: stade floraison

S5 : stade maturation

profondeurs (cm)	Stades	H% (S.D)	H% (T.M)	H% (T.C)
0 à 10	S1	12,52	13,75	15,54
	S2	14,16	14,89	15,74
	S3	14,35	15,71	16,54
	S4	13,81	12,97	13,31
	S5	13,23	11,52	10,09
10 à 20	S1	15,15	14,93	16,39
	S2	12,66	12,52	12,77
	S3	11,95	12,93	13,13
	S4	11,18	9,82	10,64
	S5	10,62	9,15	10,41
20 à 30	S1	14,98	15,10	15,92
	S2	11,79	13,02	13,00
	S3	13,03	13,61	13,26
	S4	12,86	12,16	13,73
	S5	12,01	10,80	10,84

Tableau 17 : Variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les trois techniques culturales

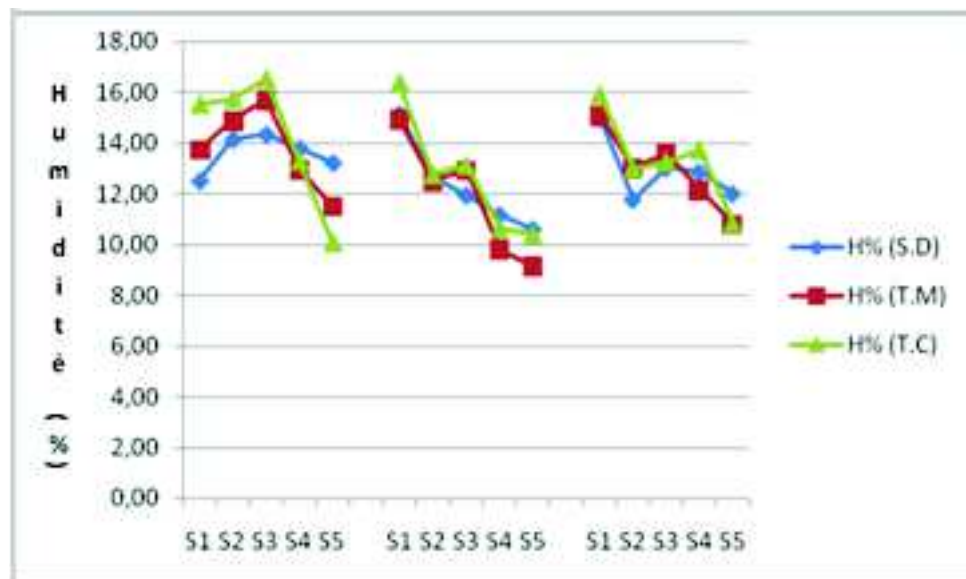


Figure 28 : Variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les trois techniques culturales.

Le facteur hydrique joue un rôle prépondérant dans l'installation des cultures et plus particulièrement dans le développement racinaire des plantes cultivées.

D'après la figure 28, on peut constater qu'au niveau du premier horizon l'humidité du sol diffère pour les trois techniques. D'une parts elle atteint le minimum pour le semis direct au premier stade avec la valeur de 12,52%, d'autres parts, le taux d'humidité atteint son maximum au niveau du troisième stade pour le travail conventionnel il a atteint la valeur de 16,54%, ainsi que pour le travail minimum ou il a atteint la valeur de 15,71% l'écart enregistré dans ce stade entre ces deux techniques est de 0,83%, pour ce qui est du semis direct la valeur maximal pour cet horizon est de 14,35% toujours au même stade végétatif avec un écart de 2,19% et de 1,36% respectivement par rapport au travail conventionnel et au travail minimum, c'est à partir du 3^{eme} stade que le semis direct enregistre la plus haute valeur. C'est au stade 5 ou l'humidité atteint sa plus basse valeur pour le travail conventionnel et le travail minimum, on enregistre respectivement 10,09 % et 11,52%.

Au niveau du deuxième horizon, le constat n'est pas le même puisque les valeurs de l'humidité sont très rapprochées pour tous les stades. L'humidité atteint son maximum pour les trois techniques au niveau du premier stade, elle atteint les 16,39% pour le travail conventionnel, 14,93% pour le travail minimum et 15,15% pour le semis direct, elle commence à diminuer ensuite jusqu'à atteindre les 10,41% pour le travail conventionnel, 09,15% pour le travail minimum et 10,62% pour le semis direct à ce stade on enregistre l'humidité la plus basse pour le semis direct et le travail minimum.

Au niveau du troisième horizon, le constat est le même puisque les valeurs de l'humidité sont très rapprochées pour tous les stades sauf le stade 2 ou le semis direct est bien derrière, et le stade 5 ou on enregistre un taux nettement plus élevé pour le semis direct cela peut être due à l'évaporation de l'eau dans le sol travaillé même au minimum.

De façon générale, les différents passages des outils aratoires par leurs actions ont un effet diminutif sur la teneur en eau dans le sol donc sur la conservation de l'eau dans le sol par rapport au semis direct qui a pour principal avantage la conservation de l'eau dans le sol.

Toutefois les résultats montrent que la Technique Conventiennelle le travail minimum et le semis direct ont des taux d'humidité rapprochés, juste qu'au niveau du premier horizon on enregistre un meilleur taux d'humidité pour le travail conventionnel. On constate après que le semis direct se rattrape à partir des deux derniers stades et prends un avantage, cela peut être expliqué par l'évaporation de l'eau pour les sols travaillés, on note que le travail minimum prend le juste milieu entre les deux autres techniques.

2. Effet des techniques culturales sur la porosité

Le second paramètre analysé est la porosité, ce dernier conditionne en grande partie la rétention en eau du sol, l'aération des racines, et leur circulation dans le sol. L'analyse de l'effet du travail conventionnel, du travail minimum et du semis direct sur la porosité est représentée dans le tableau 18 et la figure 29.

profondeurs (cm)	Stades	n% (S.D)	n% (T.M)	n% (T.C)
0 à 10	S1	56,56	56,87	51,19
	S2	49,80	55,88	44,30
	S3	54,79	61,15	45,93
	S4	63,81	60,49	46,31
	S5	55,90	56,61	48,63
10 à 20	S1	57,41	49,28	52,68
	S2	66,31	41,05	38,37
	S3	60,57	40,38	49,28
	S4	59,04	40,09	51,86
	S5	57,99	41,28	47,96
20 à 30	S1	60,57	48,13	56,09
	S2	56,26	49,95	52,25
	S3	58,27	48,13	53,87
	S4	66,60	55,50	61,43
	S5	61,81	49,30	55,91

Tableau 18 : Variation de la porosité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les trois techniques culturales

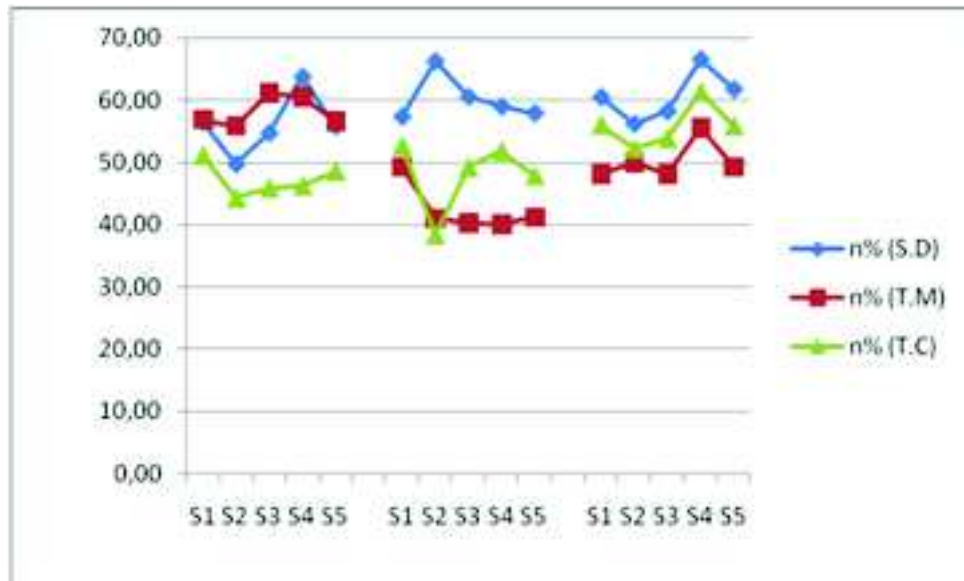


Figure 29 : Variation de la porosité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les trois techniques culturales

La porosité est une caractéristique physique qui reflète l'état structural du sol ; un sol dont les agrégats sont repartis de façon à ce qu'il résiste aux agressions liées au cycle humectation/dessiccation ou encore gels/dégels est un sol dit à structure stable et par conséquent maintient son espace poreux à un niveau fixe. Par ailleurs une structure particulière se révèle à l'opposé d'une structure fragmentaire, hautement instable et demeure sensible aux dégradations multiples telles que la battance ou encore le compactage occasionné par le passage répété d'engins lourds. C'est la stabilité de la structure qui affecte indéniablement l'état du sol, y compris la taille des pores.

Dans notre cas, et pour le premier horizon, nous constatons des valeurs très rapprochées de la porosité entre le semis direct et le travail minimum, par contre celles du travail conventionnel sont bien plus basses avec un maximum de 51,19% (stade 1) et un minimum de 44,3% (stade 2) par rapport à un maximum de 63,81% (stade 4) et de 61,15% (stade 3) et un minimum de 54,79% (stade 1) et de 55,88% (stade 2) respectivement pour le semis direct et le travail minimum.

Pour le deuxième horizon, on constate que le semis direct prend un très net avantage sur les autres techniques avec un maximum de 66,31% et un minimum de 57,41%, les deux autres techniques ont des valeurs presque identiques pour les deux 1^{er} stades puis le travail conventionnel dépasse largement le travail minimum qui lui se stabilise dans la valeur voisine à 41% comparé à un accroissement remarquable pour le travail conventionnel qui dépasse la valeur de 51%.

Pour le troisième horizon les trois techniques ont des courbes très similaires, presque identiques avec un net avantage pour le semis direct pour des valeurs entre 55,26 et 66,6% suivies du travail conventionnel avec des valeurs entre 52,25 et 61,43% puis le travail minimum avec des valeurs faibles qui ne dépassent pas les 55,5%.

Comme constat pour les trois techniques, pour les sols menés en semis direct et en travail conventionnel la porosité augmente par rapport à la profondeur et au stade végétatif, par contre celle du travail minimum diminue.

Par ailleurs, comme la porosité se calcule à partir de la densité apparente par l'intermédiaire d'une formule faisant intervenir la densité réelle qui est constante pour un type de sol donné, les constatations évoquées pour la porosité s'appliquent pour la densité apparente.

3. Effet des techniques culturales sur la 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. Nos observations sur l'évolution de la résistance pénétrométrique du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les trois techniques culturales sont mentionnées sur le tableau 19 et la figure 30.

profondeurs (cm)	Stades	R_p(daN/cm²) (S.D)	R_p(daN/cm²) (T.M)	R_p(daN/cm²) (T.C)
0 à 10	S1	6,4367	5,8459	4,99
	S2	6,0262	5,4489	5,414
	S3	6,7854	5,4232	4,222
	S4	6,0661	4,91	4,766
	S5	5,82	5,3463	5,016
10 à 20	S1	10,52	8,905	8,989
	S2	11,696	8,212	8,467
	S3	10,761	9,501	9,453
	S4	10,16	9,106	7,999
	S5	11,773	9,146	9,193
20 à 30	S1	11,987	11,82	8,234
	S2	11,69	10,117	10,498
	S3	12,368	11,992	9,2
	S4	11,612	12,035	10,167
	S5	12,808	11,3453	11,111

Tableau 19 : Variation de la résistance pénétrométrique du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les trois techniques culturales

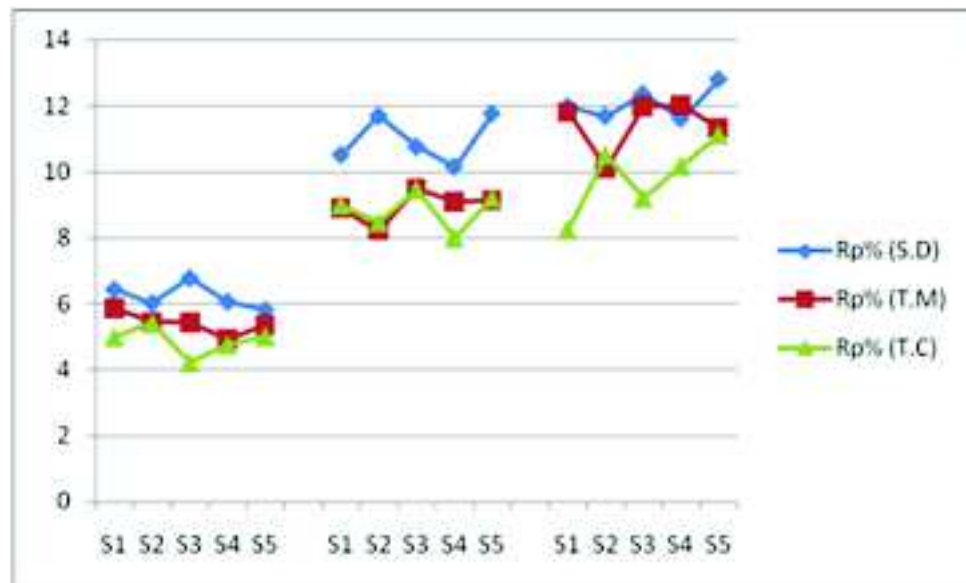


Figure 30 : Variation de la résistance pénétrométrique du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les trois techniques culturales

Le tableau et la figure ci-dessus représentent la variation de la résistance pénétrométrique du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les trois techniques culturales.

Pour le premier horizon on constate que la résistance pénétrométrique diminue au niveau du stade deux, augmente au niveau du stade trois et rechute au deux derniers stades du cycle de la plante, ce constat est fait pour les deux techniques semis direct et travail minimum juste que la résistance mécanique du sol remonte au niveau du dernier stade pour le travail minimum, pour ce qui est du travail conventionnel le constat est contraire au deux autres, la résistance pénétrométrique augmente au niveau du stade deux, diminue au niveau du stade trois et remonte au niveau des deux derniers stades du cycle de la plante, la résistance pénétrométrique est nettement supérieure dans les sols menés en semis direct que dans ceux travaillés, cela peut être expliqué par le passage des outils aratoires qui diminue la résistance du sol et ce pour le premier horizon (entres 0-10 cm).

Les valeurs les plus basses de la résistance pénétrométrique sont observées au niveau du premier horizon avec $5,82 \text{ daN/cm}^2$ pour le semis direct, $4,91 \text{ daN/cm}^2$ pour le travail minimum et $4,22 \text{ daN/cm}^2$ pour le travail conventionnel.

Pour le deuxième horizon, compris entre 10-20 cm les valeurs de la résistance pénétrométrique sont plus importantes et suivent presque la même évolution pour les sols menés en travail minimum et conventionnel avec des valeurs comprises entre ($7,99$ et $9,5 \text{ daN/cm}^2$), par contre celles du sol mené en semis directe elles sont beaucoup plus élevées avec des valeurs comprises entre ($10,5$ et $11,77 \text{ daN/cm}^2$).

Pour le troisième horizon la résistance pénétrométrique augmente fortement au niveau du deuxième stade, diminue au niveau du troisième et remonte au deux derniers stade du cycle de la plante pour le travail conventionnel avec un minimum de $8,23 \text{ daN/cm}^2$ et un maximum de $11,11 \text{ daN/cm}^2$, pour le travail minimum la courbe prend presque les mêmes valeurs que celle du semis direct sauf au niveau du deuxième et cinquième stade ou le

semis direct prend le dessus, au niveau de cet horizon on constate les valeurs les plus élevées de la résistance pénétrométrique avec 12,8 daN/cm² pour le semis direct, 12,03 daN/cm² pour le travail minimum et 11,11 daN/cm² pour le travail conventionnel.

De manière globale on constate clairement l'effet du passage des différents outils aratoires sur la résistance pénétrométrique du sol, la résistance pénétrométrique est beaucoup plus élevée dans les sols menés en semis direct ainsi que dans les sols sous travail minimum par rapport à ceux travaillés avec la méthode conventionnelle.

Après ces observations et constats, et pour plus de précision, une analyse statistique a été réalisée, elle nous a permis d'analyser les différentes corrélations entre les paramètres étudiés, l'effet de la porosité et de la résistance pénétrométrique sur l'humidité ainsi que l'impact des techniques culturales sur l'humidité du sol.

4. Analyse statistique des résultats de l'effet des techniques culturales sur les propriétés du sol

Une première analyse descriptive des résultats des principaux paramètres étudiés portant sur les valeurs moyennes sur les trois profondeurs et les cinq stades confondus, est illustrée sur le tableau suivant :

Tableau 20 : la variation de la moyenne de chaque paramètre pour les trois traitements.

Variable	Observations	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	coefficient de variation
H (S.D)	15	10,620	15,150	12,953	1,344	0,10
H (T.M)	15	9,150	15,710	12,859	1,938	0,15
H (T.C)	15	10,090	16,540	13,421	2,237	0,17
Rp (S.D)	15	5,820	12,808	9,767	2,683	0,27
Rp(T.M)	15	4,910	12,035	8,610	2,631	0,31
Rp (T.C)	15	4,222	11,111	7,848	2,328	0,30
n (S.D)	15	49,800	66,600	59,046	4,445	0,08
n (T.M)	15	40,090	61,150	50,273	7,289	0,14
n (T.C)	15	38,370	61,430	50,404	5,586	0,11

Ce tableau nous donne la variation de la moyenne de chaque paramètre pour les trois techniques. Nous nous sommes intéressés aux moyennes, aux écarts types et au coefficient de variation qui est lui-même le rapport entre l'écart type et la moyenne.

En théorie des probabilités et statistiques ; le coefficient de variation noté (c_v) mesure la dispersion relative des valeurs mesurées par rapport à la valeur moyenne.

$$c_v = \frac{\sigma}{\mu}$$

Le coefficient de variation est intéressant pour montrer la variation des trois paramètres étudiés (H%, n%, Rp%) au niveau de la technique et des différents stades végétatifs. Les valeurs de ce coefficient montrent :

4.1. Pour l'humidité

La variation de l'humidité en fonction de la profondeur et des stades végétatifs est bien apparente dans le cas du travail conventionnel, elle est moins importante dans le travail minimum et pratiquement négligeable dans le semis direct.

Donc l'humidité varie dans les sols travaillés d'une manière significative, le coefficient de variation est de 0,17 ; cela peut nous conduire à dire que le travail du sol modifie l'humidité du sol.

Outre dans les sols conduits sous un travail minimum, l'humidité varie elle aussi, le coefficient de variation est de 0,15.

Pour ce qui est du semis direct elle est moins importante à dire pratiquement négligeable avec un coefficient de variation de 0,10.

4.2. Pour la porosité

La porosité semble être complètement négligeable dans le cas du semis direct avec un coefficient de variation de 0,08, contrairement au travail minimum où le coefficient de variation est de 0,14 ; donc la porosité varie sensiblement dans les sols menés en travail minimum. On constate aussi une variation plus au moins importante pour le travail conventionnel avec un coefficient de variation de 0,11.

4.3. Pour la résistance pénétrométrique

Dans le cas du travail conventionnel la résistance pénétrométrique varie d'une manière très importante où on trouve un coefficient de variation égale à 0,30, elle varie encore plus au niveau des sols menés sous le travail minimum avec un coefficient de variation de 0,31, même pour le semis direct la variation est importante avec un coefficient de variation égale à 0,27. Donc la technique de travail de sol a une grande influence sur la résistance pénétrométrique ainsi sur le développement racinaire.

5. La matrice de corrélation entre les différents paramètres [H(%), n (%), Rp (daN/cm²)]

Tableau 21 : représentation des corrélations entre les différents paramètres [H(%), n (%), Rp (daN/cm²)]

Variables	H% (S.D)	H% (T.M)	H% (T.C)	Rp% (S.D)	Rp% (T.M)	Rp% (T.C)	n% (S.D)	n% (T.M)	n% (T.C)
H% (S.D)	1								
H% (T.M)	0,845	1							
H% (T.C)	0,764	0,930	1						
Rp%(S.D)	-0,344	-0,304	-0,249	1					
Rp%(T.M)	-0,228	-0,207	-0,159	0,933	1				
Rp%(T.C)	-0,419	-0,373	-0,319	0,939	0,895	1			
n% (S.D)	-0,175	-0,322	-0,263	0,484	0,435	0,425	1		
n% (T.M)	0,550	0,493	0,435	-0,705	-0,535	-0,646	-0,266	1	
n% (T.C)	-0,017	-0,083	0,001	0,434	0,689	0,506	0,198	0,050	1

En statistique, une matrice de corrélation regroupe le niveau des relations (les corrélations) de plusieurs variables entre elles, les coefficients indiquant l'influence que les variables ont les unes sur les autres.

5.1. Corrélation au sein d'un même paramètre

L'analyse des corrélations indique qu'il y a toujours une forte corrélation au sein du même paramètre qui est l'humidité et ce quel que soit la technique culturale utilisé. Les coefficients de corrélations indiquent pour l'humidité une très bonne corrélation entre les différents cas (semis direct, travail minimum et travail conventionnel). Les coefficients sont entre 76% et 93%. Ce qui signifie que les techniques culturales ont un effet certain sur la réserve en eau du sol. Ce qui veut dire que l'humidité du sol est très fortement influencée par la technique choisie. Ce qui nous a menés à détailler un peu plus cette analyse, et d'étudier l'effet de la technique culturale sur l'humidité

La porosité semble n'avoir aucune influence vis-à-vis des techniques culturales pratiquées. Ce qui veut dire que l'effet de la technique culturale n'est pas significatif sur ce paramètre.

Les coefficients de corrélations sont très importants pour la résistance pénétrométrique. Ainsi on enregistre une forte corrélation entre la résistance pénétrométrique des différentes techniques, de ce fait on va détailler un peu plus cette analyse avec l'étude de la l'effet de la technique culturale sur la résistance pénétrométrique.

6. Analyse statistique de l'effet de la technique de travail conventionnel et semis direct sur la rétention en eau

Les trois techniques choisies sont le travail classique, le travail minimum et le semis direct, ces trois techniques sont totalement différentes. Au niveau du travail conventionnel, le sol est entièrement travaillé par contre au niveau du travail minimum il est partiellement travaillé et au niveau du semis direct, seul l'emplacement de la graine est travaillé.

Il est à remarquer donc que la rétention en eau est plus importante au niveau des parcelles du semis direct; ce qui nous a conduits à nous poser la question suivante : quelles sont les conséquences sur le développement de la culture.

Afin de répondre à cette question il a été utile d'analyser les différentes corrélations entre H (SD), H (TM) et H (TC) d'une part, et d'étudier ensuite dans le prochain chapitre les conséquences sur le rendement et ses composantes.

6.1. Matrice de corrélation entre les différentes valeurs de l'humidité

Le tableau suivant montre la puissance de la corrélation entre les différentes valeurs de l'humidité

Tableau 22 : les corrélations entre différentes valeurs de l'humidité

ETUDE DES RESULTATS D'ESSAIS DE DIFFERENTES TECHNIQUES DE SEMIS DU BLE DUR (CHEN'S)

Variables	H% (SD)	H% (TM)	H% (TC)
H% (SD)	1		
	(15)		
	0,0000		
H% (TM)	0,845	1	
	(15)	(15)	
	0,0000	0,0000	
H% (TC)	0,764	0,930	1
	(15)	(15)	(15)
	0,0000	0,0000	0,0000

- Valeur de r (coefficient de Pearson) compris entre -1 et $+1$
- (Nombre de mesure = 15)
- **Probabilité statistique : p qui examine la signification statistique des corrélations prévues**

Ce tableau montre la puissance de corrélation entre des paires des variables étudiées, dans notre cas cette variable est l'humidité du sol sous différentes techniques culturales. Les coefficients de corrélation (r) varient entre -1 et $+1$ mesurent la force de corrélation linéaire entre les variables. Les valeurs de p en dessous de **0,05** indiquent statistiquement des corrélations différentes de zéro significatives au niveau de confiance **95 %**.

Les paires suivantes de l'humidité ayant des valeurs de p en dessous de **0,05** sont fortement corrélées, ce qui signifie d'une manière générale que la technique culturale choisie a des effets certains sur l'humidité et par conséquent sur le rendement.

- **H (travail minimum) et H (semis direct) $r = 0,845$**
- **H (semis direct) et H (travail conventionnel) $r = 0,764$**
- **H (travail minimum) et H (travail conventionnel) $r = 0,930$**

De manière générale, cela signifie que l'effet de la technique culturale (travail conventionnel travail minimum et semis direct) est très hautement significatif.

6.1.1. La régression linéaire entre H% (TM) et H% (SD)

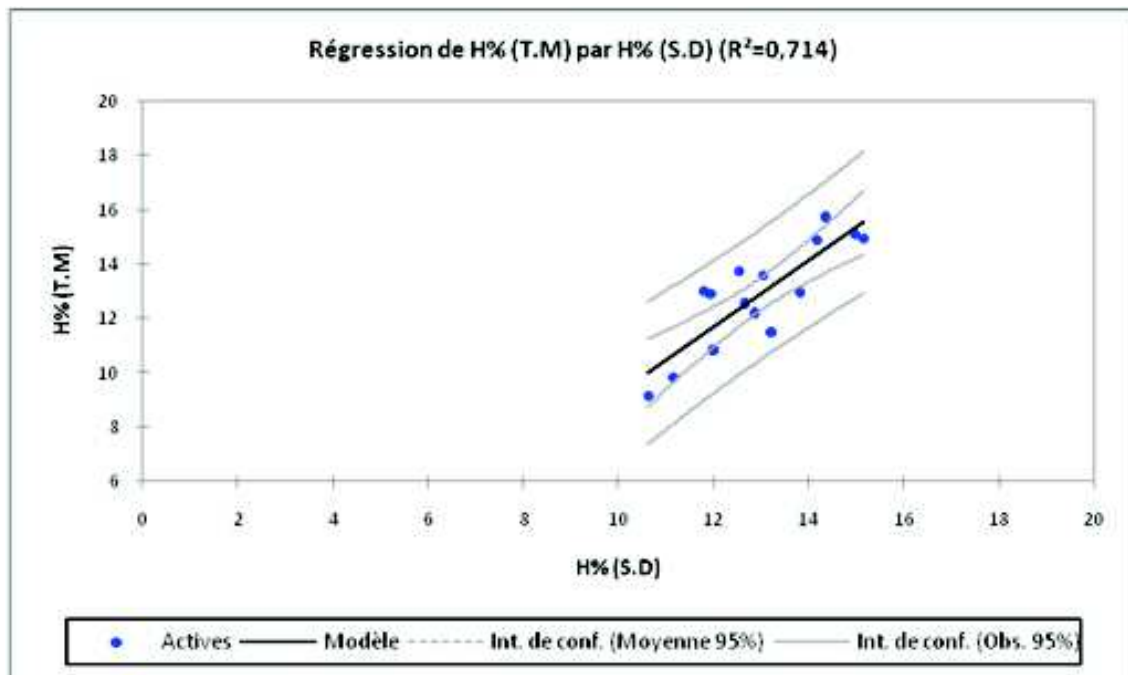


Figure 31 : courbe représentant La corrélation entre H (TM) et H (SD)

D'après l'analyse de la corrélation on constate qu'il y a une forte corrélation entre l'humidité sous le travail minimum et celle sous le semis direct.

L'analyse par régression linéaire, mettant en relation la variable H (TM) avec la variable H (SD), a donné la relation suivante :

$$H\% (T.M) = - 2,93 + 1,21 \cdot H\% (S.D) \quad R^2 = 0,714$$

Cette relation confirme clairement que la technique culturale a un effet certain sur l'humidité dans le sol. Nous constatons d'après cette formule et d'après l'étude faite précédemment sur l'analyse de la variation de l'humidité dans le sol en relation avec le stade végétatif et la profondeur, que les parcelles menées en semis direct, présentent une forte rétention en eau, par rapport à celles travaillées même en travail minimum. Ces remarques font ressortir l'importance des techniques de semis direct par rapport aux labours. C'est d'ailleurs pour ces raisons que plusieurs travaux de recherche ont montré l'intérêt de se lancer dans les techniques de semis directs, c'est à dire aux nouvelles méthodes de semis.

Tenant compte de la valeur de p inférieure à 0,05 dans le tableau d'ANOVA, le modèle établi montre que la relation entre H (TM) et H (SD) est fortement significative a un niveau de confiance de 95%. Le coefficient de détermination $R^2 = 0,714$ montre que le modèle est expliqué a 71,49 %. Le coefficient de corrélation est égal à 0,84, indiquant une forte relation entre les variables. Nous en concluons donc que l'humidité est fortement influencée par la technique culturale. D'où l'importance de choisir correctement la technique à mettre en place.

6.1.2. La régression linéaire entre H% (TM) et H% (TC)

D'après l'analyse de la corrélation on constate qu'il y a une forte corrélation entre l'humidité sous le travail minimum et celle sous le semis direct.

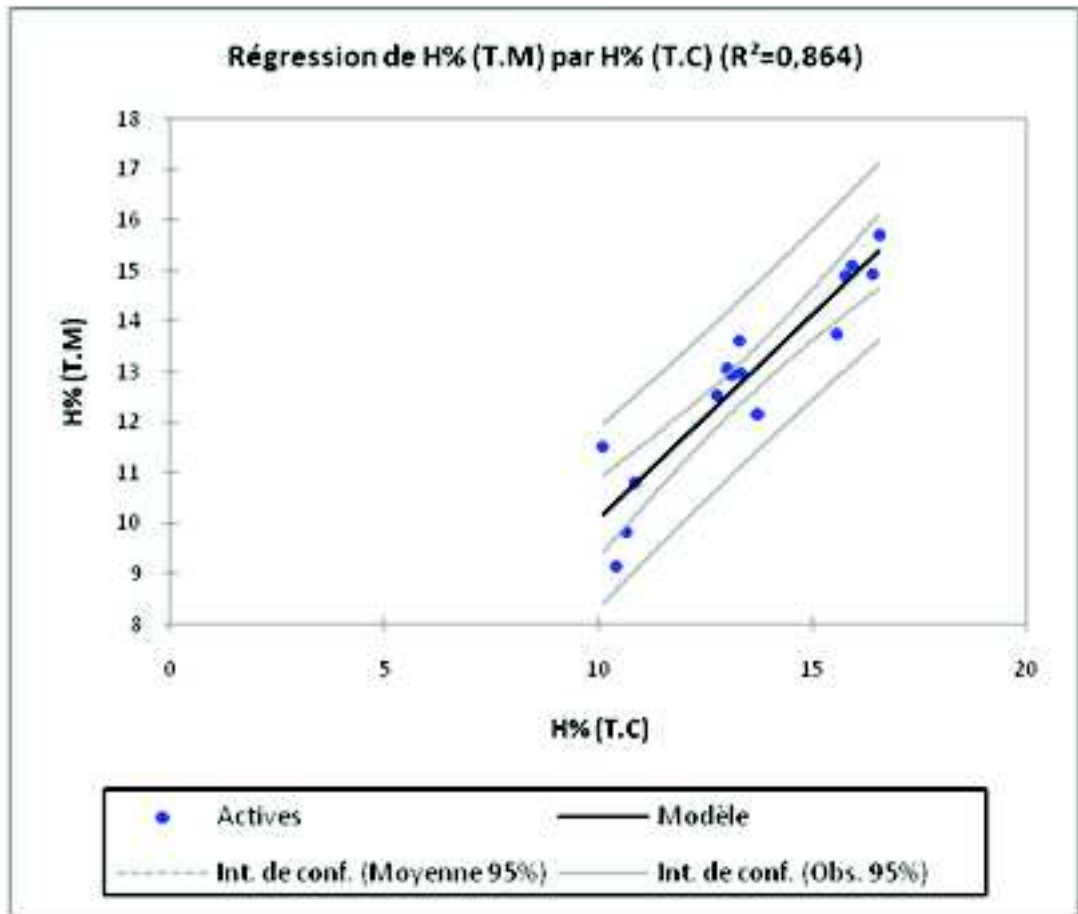


Figure 32 : courbe représentant La corrélation entre H (TM) et H (TC)

L'analyse par régression linéaire, mettant en relation la variable H (TM) avec la variable H (TC), a donné la relation suivante :

$$H\% (T.M) = 2,04 + 0,80 * H\% (T.C) \quad R^2 = 0,864$$

Cette relation montre clairement à l'image de la première relation, que l'humidité est modifiée par le travail du sol, ce dernier, à un effet diminutif ; et on constate que l'humidité dans les sols menés en travail minimum est supérieure à celle de la technique conventionnelle, ce qui nous conduit à conclure que le choix de la technique à introduire est prépondérant.

Tenant compte de la valeur de p inférieure à 0,05 dans le tableau d'ANOVA, le modèle établi montre que la relation entre H (TM) et H (TC) est fortement significative a un niveau de confiance de 95%. Le coefficient de détermination $R^2 = 0,864$ montre que le modèle est expliqué a 86.49 %. Le coefficient de corrélation est égal à 0,93 indiquant une relation très forte entre les variables.

7. Analyse statistique de l'effet de la technique de travail conventionnel et semis direct sur la résistance pénétrométrique

Comme pour l'humidité les trois techniques choisies sont le travail classique, le travail minimum et le semis direct, ces trois techniques sont totalement différentes.

Il est à remarquer donc que la résistance pénétrométrique est beaucoup plus importante au niveau des parcelles du semis direct, puis celles du travail minimum par rapport à celles menées en travail classique, ce qui nous a conduits à nous poser encore une fois la question suivante : quelles sont les conséquences sur le développement racinaire ainsi que sur le développement de la culture ?

Afin de répondre à cette question il a été primordial d'analyser les différentes corrélations entre Rp (SD), Rp (TM) et Rp (TC) d'une part, et d'étudier ensuite dans le prochain chapitre les conséquences sur le développement racinaire on passant par le rendement et ses composantes.

7.1. Matrice de corrélation entre les différentes valeurs de l'humidité

Le tableau suivant montre la puissance de la corrélation entre les différentes valeurs de la résistance pénétrométrique

Tableau 23 : les corrélations entre différentes valeurs de la résistance pénétrométrique

Variabes	Rp daN/cm ² (SD)	Rp daN/cm ² (TM)	Rp daN/cm ² (TC)
Rp daN/cm ² (SD)	1		
	(15)		
	0,0000		
Rp daN/cm ² (TM)	0,933	1	
	(15)	(15)	
	0,0000	0,0000	
Rp daN/cm ² (TC)	0,939	0,895	1
	(15)	(15)	(15)
	0,0000	0,0000	0,0000

- Valeur de r (coefficient de Pearson) compris entre -1 et +1
- (Nombre de mesure = 15)
- **Probabilité statistique : p qui examine la signification statistique des corrélations prévues**

Ce tableau montre la puissance de corrélation entre des paires des variables étudiées, dans notre cas cette variable est la résistance pénétrométrique sous différentes techniques culturales. Les coefficients de corrélation (*r*) varient entre **-1 et +1** mesurent la force de corrélation linéaire entre les variables. Les valeurs de *p* en dessous de **0,05** indiquent statistiquement des corrélations différentes de zéro significatives au niveau de confiance **95%**.

Les paires suivantes de la résistance pénétrométrique ayant des valeurs de *p* en dessous de **0,05** sont donc fortement corrélées, ce qui signifie d'une manière générale que la technique culturale choisie a des effets certains sur la résistance pénétrométrique et par conséquent sur le développement racinaire donc sur le rendement.

- **Rp (travail minimum) et Rp (semis direct) r = 0,933**

- **Rp** (semis direct) et **Rp** (travail conventionnel) $r = 0,939$
- **Rp** (travail conventionnel) et **Rp** (travail minimum) $r = 0,895$

De manière générale, cela signifie que l'effet de la technique culturale (travail conventionnel travail minimum et semis direct) est très hautement significatif.

7.1.1. La régression linéaire entre Rp (SD) et Rp (TM)

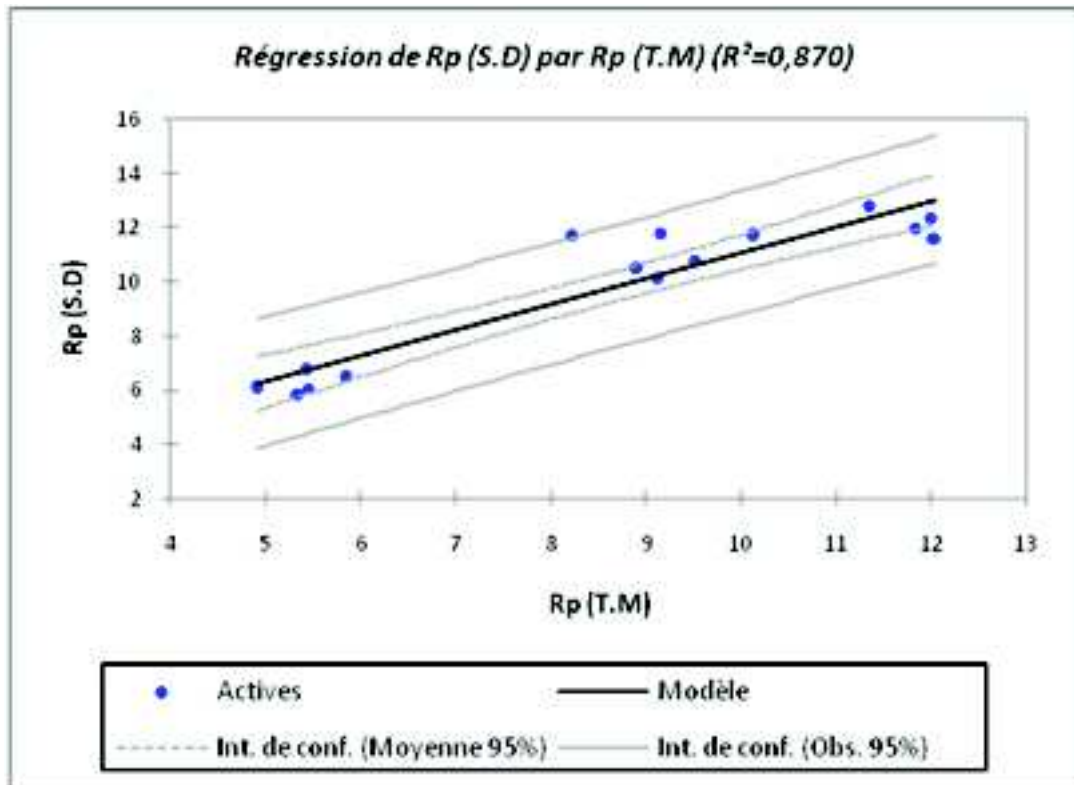


Figure 33 : courbe représentant La corrélation entre Rp (SD) et Rp (TM)

D'après l'analyse de la corrélation on constate qu'il y a une forte corrélation entre la résistance pénétrométrique sous le travail minimum et celle sous le semis direct.

L'analyse par régression linéaire, mettant en relation la variable Rp (TM) avec la variable Rp (SD), a donné la relation suivante :

$$Rp (S.D) = 1,57 + 0,95 * Rp\% (T.M) \quad R^2 = 0,870$$

Cette relation confirme clairement que la technique culturale a un effet certain sur la résistance pénétrométrique du sol. Nous constatons d'après cette formule et d'après l'étude faite précédemment sur l'analyse de la variation de la résistance pénétrométrique du sol en relation avec le stade végétatif et la profondeur, que les parcelles travaillées au minimum (travail minimum) ont une faible résistance à la pénétration, donc moins compactes, par rapport à celles non travaillées (semis direct). D'ailleurs, les techniques de préparation du sol ont un effet certain sur le développement racinaire.

Tenant compte de la valeur de p inférieure à 0,05 dans le tableau d'ANOVA, le modèle établi montre que la relation entre R_p (TM) et R_p (SD) est fortement significative à un niveau de confiance de 95%. Le coefficient de détermination $R^2 = 0,870$ montre que le modèle est expliqué à 87,09 %. Le coefficient de corrélation est égal à 0,93, indiquant une forte relation entre les variables. Nous en concluons donc que la résistance pénétrométrique est fortement influencée par la technique culturale. D'où l'importance de choisir correctement la technique à mettre en place et les différentes formes des pièces travaillantes.

7.1.2. La régression linéaire entre R_p (SD) et R_p (TC)

D'après l'analyse de la corrélation on constate qu'il y a une forte corrélation entre la résistance pénétrométrique sous le travail minimum et celle sous le semis direct.

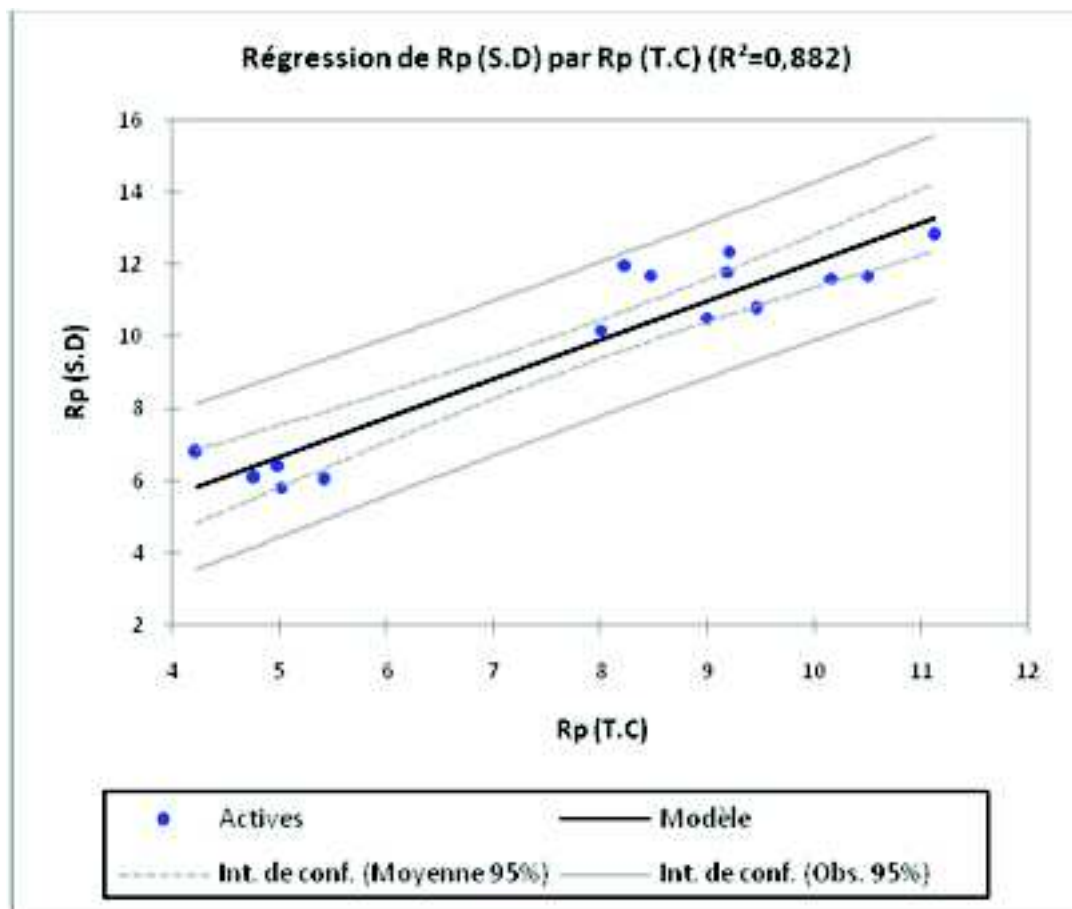


Figure 34 : courbe représentant La corrélation entre R_p (SD) et R_p (TC)

L'analyse par régression linéaire, mettant en relation la variable R_p (TC) avec la variable R_p (SD), a donné la relation suivante :

$$R_p\% (S.D) = 1,27 + 1,08 * R_p\% (T.C) \quad R^2 = 0,882$$

Cette relation aussi confirme que la technique culturale a un effet certain sur la résistance pénétrométrique du sol. Tous comme précédemment nous constatons que les

parcelles travaillées avec la charrue à socs, présentent une très faible résistance à la pénétration, donc beaucoup moins compactes, par rapport à celles non travaillées. Ces remarques font ressortir l'importance des labours par rapport aux techniques de semis direct.

D'ailleurs, les techniques de préparation du sol ont un effet certain sur le développement racinaire, d'où l'intérêt de prendre des précautions pour l'introduction des nouvelles techniques, notamment le semis direct. C'est d'ailleurs pour ces raisons que plusieurs travaux de recherche ont montré l'intérêt de revenir aux travaux profonds, c'est à dire aux méthodes classiques de préparation du sol.

D'après la valeur de p inférieure à 0,05 dans le tableau d'ANOVA, le modèle établi montre que la relation entre Rp (TC) et Rp (SD) est fortement significative à un niveau de confiance de 95%. Le coefficient de détermination $R^2 = 0,882$ montre que le modèle est expliqué à 88,29 %. Le coefficient de corrélation est égal à 0,939, indiquant une forte relation entre les variables. Nous en concluons donc que la résistance pénétrométrique est fortement influencée par la technique culturale. D'où l'importance de choisir correctement la technique à mettre en place et les différentes formes des pièces travaillantes.

7.1.3. La régression linéaire entre Rp (TM) et Rp (TC)

D'après l'analyse de la corrélation on constate qu'il y a une forte corrélation entre la résistance pénétrométrique sous le travail minimum et celle sous le travail conventionnel.

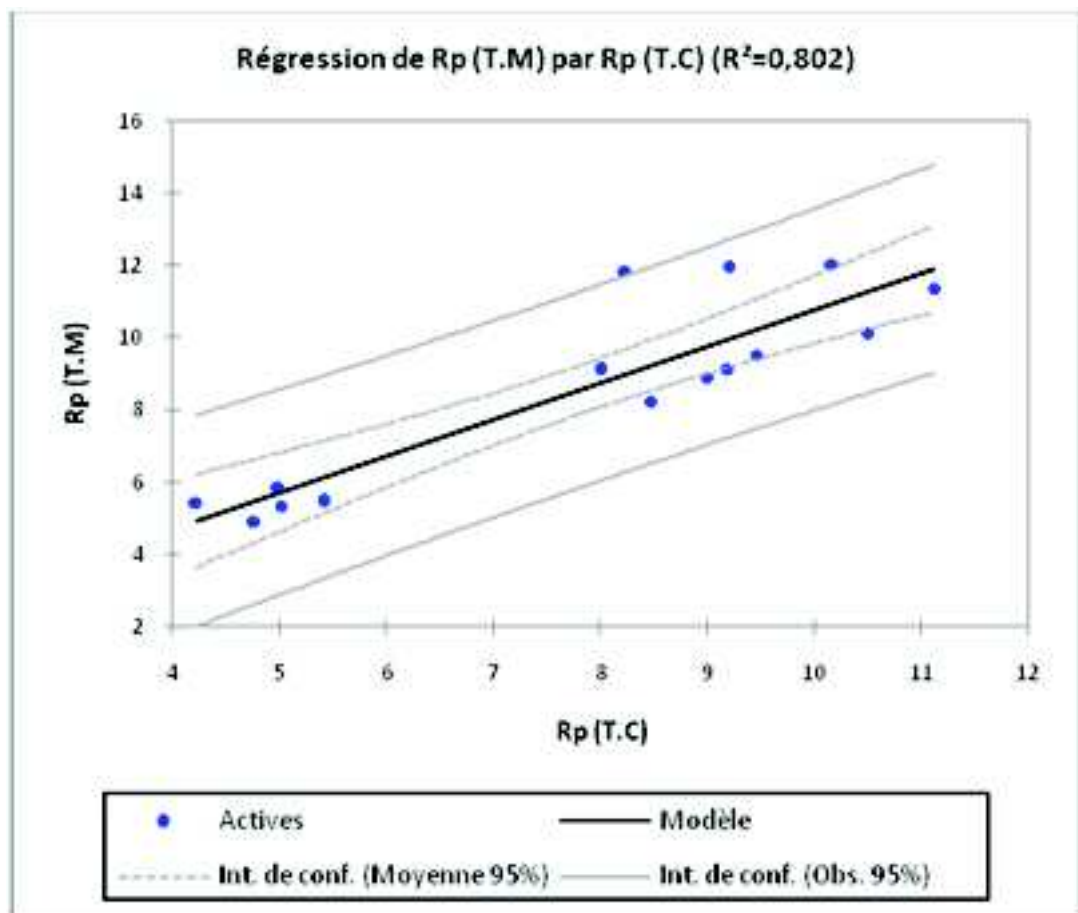


Figure 35 : courbe représentant La corrélation entre Rp (TM) et Rp (TC)

L'analyse par régression linéaire, mettant en relation la variable Rp (TM) avec la variable Rp (SC), a donné la relation suivante :

$$Rp\% (T.M) = 0,66 + 1,01 * Rp\% (T.C) \quad R^2 = 0,802$$

Pour ce qui est des corrélations entre le travail minimum et le travail conventionnel pour la résistance pénétrométrique du sol le constat est pratiquement le même avec la constatation que les parcelles travaillées avec la charrue présente une résistance pénétrométrique très faible par rapport au travail minimum.

Tenant compte de la valeur de p inférieure à 0,05 dans le tableau d'ANOVA, le modèle établi montre que la relation entre Rp (TM) et Rp (TC) est fortement significative a un niveau de confiance de 95%. Le coefficient de détermination $R^2 = 0,829$ montre que le modèle est expliqué a 82.99 %. Le coefficient de corrélation est égal à 0,895 indiquant une relation très forte entre les variables.

Conclusion

Au travers de ces observations, il apparaît nettement que les principaux paramètres étudiés sont influencés par la technique culturale choisie (la technique conventionnelle le travail minimum et la technique du semis direct) surtout pour ce qui est de l'humidité et de la résistance pénétrométrique. Le développement des racines est donc indirectement très dépendant de la technique choisie pour ce qui est de la résistance mécanique et de la rétention en eau, se qui se répercutera sur le rendement de la culture.

Afin de compléter notre analyse sur l'effet des techniques culturales sur le développement de la culture blé, nous nous sommes intéressés à la réaction et au rendement et ses composantes obtenues par les trois techniques culturales utilisées et ce qui fera l'objet du prochain chapitre.

Chapitre III : Discussions des résultats de l'effet des techniques de semis sur le rendement et ses composantes

Introduction

Dans cette dernière partie, nous allons essayer de présenter et de discuter l'ensemble des résultats du rendement et de ses composantes.

Une analyse va permettre de dégager les effets des trois techniques culturales a savoir le labour, le travail minimum et le semis direct sur les paramètres de production de la culture (rendement et composantes du rendement), on verra les conséquences de l'effet des techniques culturales sur les propriétés de la culture tout en s'appuyant sur l'analyse

statistique qui nous aidera certainement a dégager l'effet des différentes techniques a mettre en place sur les composantes du rendement et les conséquences sur le rendement.

Nous avons essayé d'axer nos travaux sur quelques paramètres qui nous ont paru les plus importants à savoir :

- La hauteur des tiges ;
- Le nombre d'épi par mètre carré ;
- Le nombre d'épillets par épi ;
- Le nombre de grains par épi
- Le poids de mille grains ;
- Le rendement parcellaire ;
- La matière organique ;
- Le taux de recouvrement par les mauvaises herbes.

1. L'indice des techniques culturales sur la hauteur des tiges

La figure et le tableau ci-dessous représentent la variation de l'hauteur des tiges pour les trois techniques utilisées à savoir le travail conventionnel, le travail minimum et le semis direct :

	TC	TM	SD
Bloc 1	62,67	65,07	67,73
Bloc 2	69,93	69,53	73,60
Bloc 3	69,60	64,93	73,53
Bloc 4	67,00	65,33	67,13
Moyenne	67,30	66,22	70,50

Tableau 24 : Variation de la hauteur des tiges pour les trois techniques

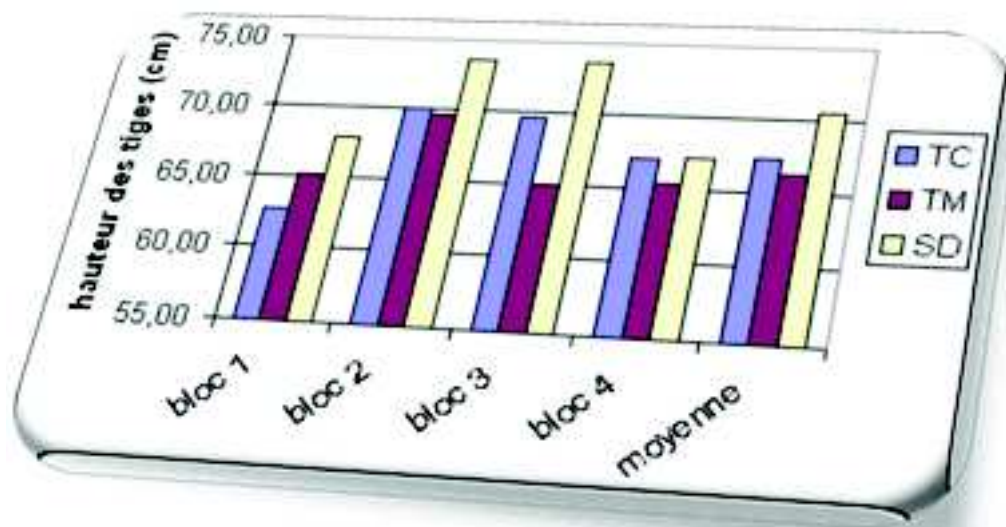


Figure 36 : Variation de la hauteur des tiges pour les trois techniques

Cette figure montre que la hauteur des tiges est supérieure dans les semis direct avec une moyenne de 70,5 cm, suivi par le travail conventionnel avec une moyenne de 67,3 cm puis le travail minimum avec une moyenne de 66,22 cm.

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

L'analyse de la variance montre qu'il n'y a pas de corrélation entre les variables, donc pas d'effet significatif de la technique culturale sur la hauteur des tiges.

Tableau 25 : Matrice de corrélation (Pearson n) pour la hauteur des tiges

Variabes	TC	TM	SD
TC	1		
TM	0,510	1	
SD	0,811	0,531	1

- Valeur de r (coefficient de Pearson) compris entre -1 et +1
- (Nombre de mesure = 9)
- Probabilité statistique : p qui examine la signification statistique des corrélations prévues

2. L'indice des techniques culturales sur le nombre d'épi par mètre carré

La figure et le tableau ci-dessous représentent la variation du nombre d'épi par mètre carré pour les trois techniques culturales utilisées à savoir le travail conventionnel, le travail minimum et le semis direct :

Tableau 26 : Variation du nombre d'épi par mètre carré pour les trois techniques

	TC	TM	SD
Bloc1	163,2	177,8	134
Bloc 2	136,4	175,4	158,6
Bloc 3	148,4	137,8	158,8
Bloc 4	160,6	132,6	120
Moyenne	152,15	155,9	142,85

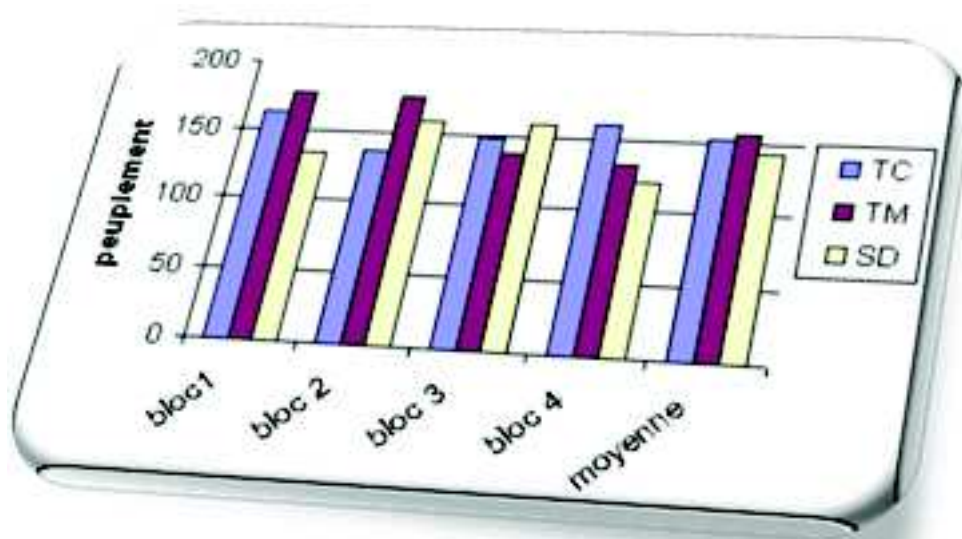


Figure 37 : Variation du nombre d'épi par mètrecarré pour les trois techniques

Le peuplement épis par unité de surface ne dépend pas uniquement du pouvoir de tallage et de la densité de semis, mais aussi du type de la technique culturale. La figure ci dessus montre que le meilleur peuplement à été obtenu au niveau des parcelles sous travail minimum avec une moyenne de 155,9 épis /m², alors qu'on a enregistré une valeur légèrement plus basse pour le travail conventionnel avec une moyenne de 152,15 épis/m² et enfin le semis direct avec 142,8 épis/m².

Les valeurs obtenues dans cet essai sont légèrement inférieures à celles obtenues dans d'autres recherches. En effet, plusieurs auteurs travaillant sur la même variété et dans diverses stations (notamment la station expérimentale de l'Institut Technique des Grandes Cultures d'El Harrach) ont obtenu un nombre d'épis plus important. La seule explication concernant cette faible performance réside probablement dans un déficit hydrique momentané à un stade végétatif critique. Ces résultats ont été testés par l'analyse de la variance et ont montré un effet non significatif avec une faible probabilité.

L'analyse de la variance montre qu'il n'y a pas d'effet significatif de la technique culturale sur nombre d'épi/m².

Tableau 27 : Matrice de corrélation (Pearson n) pour le nombre d'épi par mètrecarré

Variables	TC	TM	SD
TC	1		
TM	-0,219	1	
SD	-0,845	0,258	1

- Valeur de r (coefficient de Pearson) compris entre -1 et +1
- (Nombre de mesure = 9)
- Probabilité statistique : p qui examine la signification statistique des corrélations prévues

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'extériorise 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.

3. L'indice des techniques culturales sur le nombre d'épillets par épi

La figure et le tableau ci-dessous représentent la variation du nombre d'épillets par épi pour les trois techniques culturales utilisées à savoir le travail conventionnel, le travail minimum et le semis direct :

Tableau 28 : Variation du nombre d'épillets par épi pour les trois techniques

	Nombre épillets/épi (TC)	Nombre épillets/épi (TM)	Nombre épillets/épi (SD)
Bloc 1	17,4	16,12	15,24
Bloc 2	14,92	14,88	15,64
Bloc 3	14,8	16,08	14,6
Bloc 4	17	15,48	16,16
Moyenne	16,03	15,64	15,41

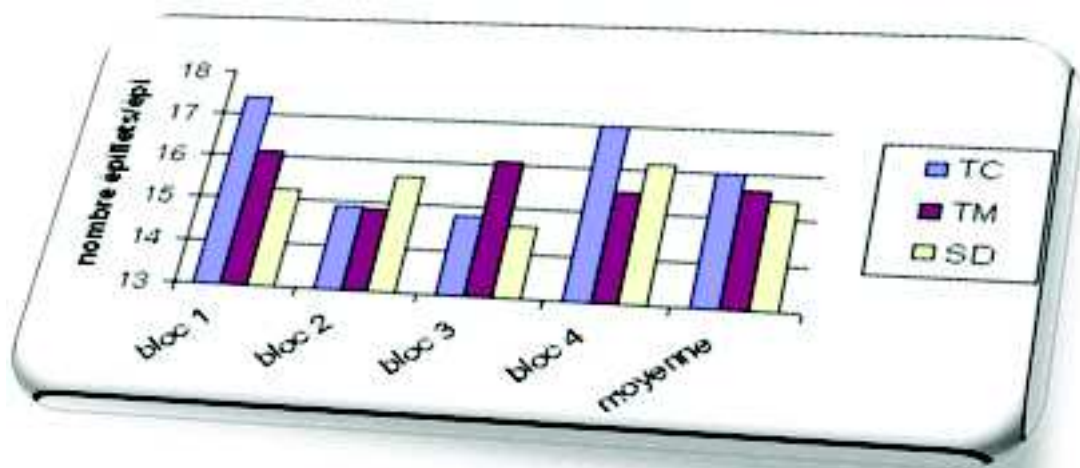


Figure 38 : Variation du nombre d'épillets par épi pour les trois techniques

Cette figure montre que nombre d'épillets par épi est supérieure dans le travail conventionnel 16,03 épillets/épi, suivi par le travail minimum avec une moyenne de 15,64 épillets/épi puis le semis direct avec une moyenne de 15,41 épillets/épi.

L'analyse de la variance montre qu'il n'y a pas d'effet significatif de la technique culturale sur nombre d'épillets/épi.

Tableau 29 : Matrice de corrélation (Pearson n) pour le nombre d'épillets par épi

ETUDE DES RESULTATS D'ESSAIS DE DIFFERENTES TECHNIQUES DE SEMIS DU BLE DUR (CHEN'S)

Variabes	Nbre épillets/épi (TC)	Nbre épillets/épi (TM)	Nbre épillets/épi (SD)
Nbre épillets/épi (TC)	1	0,337	0,459
Nbre épillets/épi (TM)	0,337	1	-0,634
Nbre épillets/épi (SD)	0,459	-0,634	1

- Valeur de r (coefficient de Pearson) compris entre -1 et +1
- (Nombre de mesure = 9)
- Probabilité statistique : p qui examine la signification statistique des corrélations prévues

4. L'indice des techniques culturales sur le nombre de grains par épi

La figure 39 et le tableau 30 représentent la variation du nombre de grain par épi pour les trois techniques culturales utilisées à savoir le travail conventionnel, le travail minimum et le semis direct :

Tableau 30 : Variation du nombre de grains par épi pour les trois techniques

	TC	TM	SD
Bloc 1	55,88	49,56	51,2
Bloc 2	49,48	48,36	46
Bloc 3	48,08	51,64	38,88
Bloc 4	52,28	50,12	48,36
Moyenne	51,43	49,92	46,11

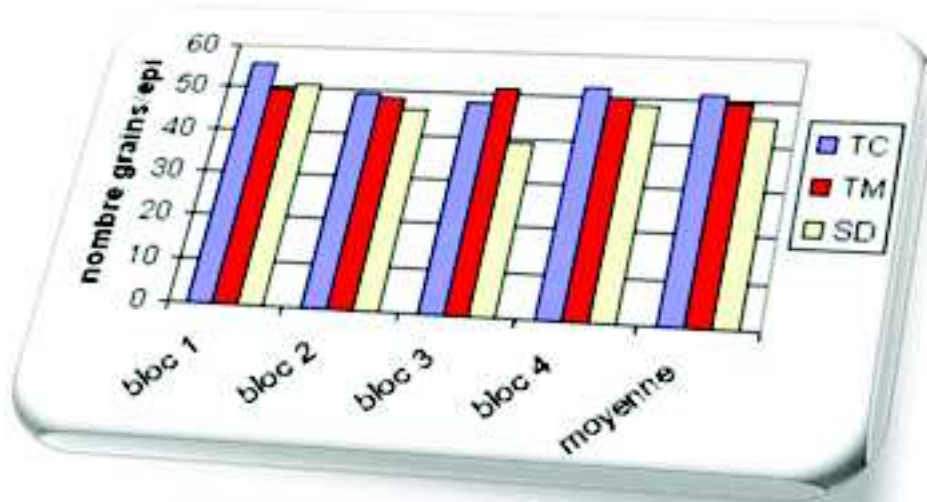


Figure 39 : Variation du nombre de grains par épi pour les trois techniques

D'après la figure et le tableau ci-dessus, le nombre de grains est à peu près égal pour la technique du travail conventionnel et celle du travail minimum avec un léger avantage pour le travail conventionnel ou on a une moyenne qui avoisine les 52 grains contre 50 grains pour le travail minimum, le semis direct se classe en dernière position avec une moyenne de 47 grains.

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

L'analyse de la variance montre qu'il y a un effet significatif de la technique culturale sur le nombre de grains/épi.

Tableau 31 : Analyse de la variance pour le nombre de grains par épi

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	1	67,533	67,533	8,591	0,099
Erreur	2	15,722	7,861		
Total corrigé	3	83,256			

Calculé contre le modèle $Y = \text{Moyenne}(Y)$

La matrice de corrélation montre la puissance de la corrélation entre les valeurs du nombre de grains par épi pour le travail conventionnel et le semis direct.

Tableau 32 : Matrice de corrélation (Pearson n) pour le nombre de grains par épi

Variabes	TC	TM	SD
TC	1		
TM	-0,295	1	
SD	0,901	-0,634	1

- Valeur de r (coefficient de Pearson) compris entre -1 et +1
- (Nombre de mesure = 9)
- Probabilité statistique : p qui examine la signification statistique des corrélations prévues

Cette table montre la puissance de corrélation entre les variables étudiées, dans notre cas cette variable est le nombre de grains par épi sous l'effet de deux techniques culturales.

Le coefficient de corrélation (r) varie entre -1 et +1 et mesure la force de corrélation linéaire entre les variables.

Les valeurs de p en dessous de 0,05 indiquent statistiquement des corrélations différentes de zéro significatives au niveau de confiance 95 %.

Pour notre cas le coefficient est égale a 0,901 ce qui veut dire qu'il y a une forte corrélation entre les deux variables et ce qui nous amène à faire une régression de la variable nombre de grains/épi entre le semis direct et le travail conventionnel.

4.1. Régression de la variable nombre de grains par épi entre SD et TC

D'après l'analyse de la corrélation on constate qu'il y a une forte corrélation entre le nombre de grains par épi pour le semis direct et le travail conventionnel.

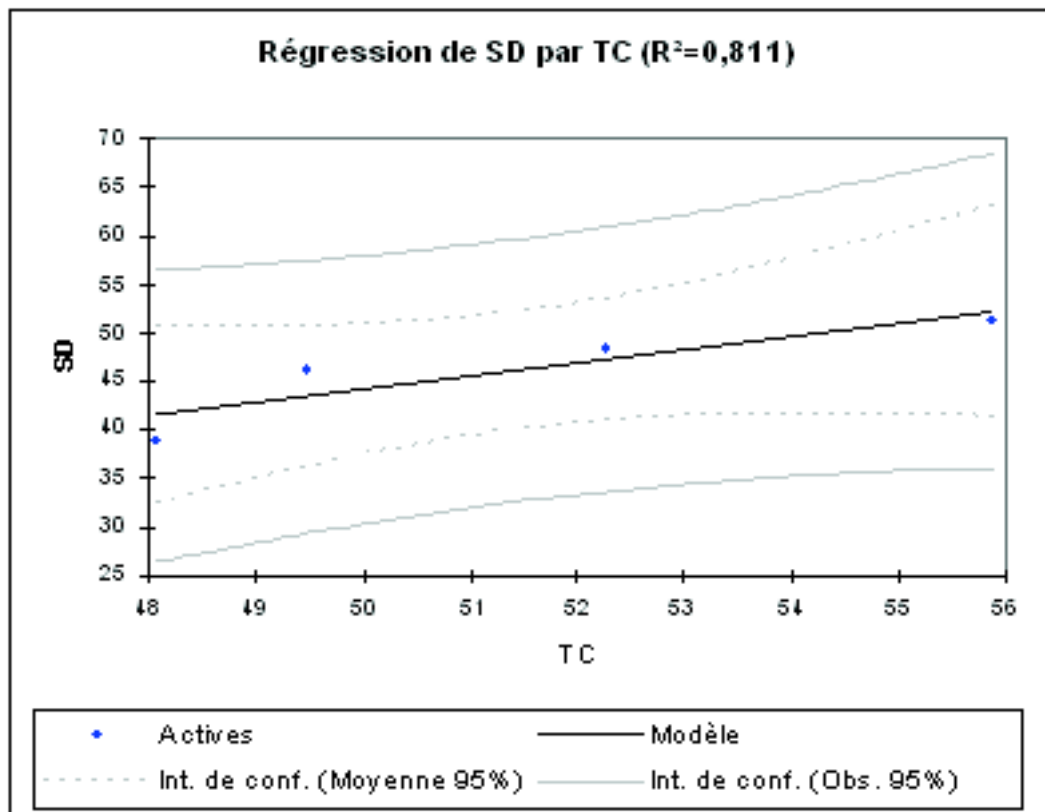


Figure 40 : Courbe représentant la corrélation entre nombre grains/épi SD et nombre grains/épi TC

L'analyse par régression linéaire, mettant en relation la variable nombre grains/épi SD avec la variable nombre grains/épi TC, a donné la relation suivante :

$$\text{Nbre gr/épi (SD)} = -24,78 + 1,379 * \text{Nbre gr/épi (TC)} \quad (R^2=0,811)$$

Cette relation montre clairement que la technique culturale a un effet certain sur le nombre de grains par épi. Nous constatons d'après cette équation et d'après les histogrammes précédents que les parcelles travaillées avec la charrue à socs, présentent un plus grand nombre de grains par épi par rapport à celles non travaillées. Ces remarques font ressortir l'importance des labours par rapport aux techniques de semis direct. D'ailleurs et d'après des études menées par (Abellaoui et Al) précédemment, il a été conclu que le nombre de grains est lié à la technique culturale, ils ont enregistré des faibles valeurs pour la technique qui consiste à travailler le sol en surface seulement. Donc, un travail du sol de faible profondeur, ne permet pas à la plante d'explorer les profondeurs convenablement.

Tenant compte de la valeur de p inférieure à 0,05 dans le tableau d'ANOVA, le modèle établi montre que la relation entre nombre grains/épi (SD) et nombre grains/épi (TC) est fortement significative à un niveau de confiance de 95%. Le coefficient de détermination $R^2 = 0,811$ montre que le modèle est expliqué à 81,1 %. Le coefficient de corrélation est égal à 0,901 indiquant une relation relativement forte entre les variables. Nous en concluons donc que le nombre de grains par épi est fortement influencé par la technique culturale. D'où

l'importance de choisir correctement la technique à mettre en place et les différentes formes des pièces travaillantes.

5. L'indice des techniques culturales sur le poids de mille grains

La figure 41 et le tableau 33 représentent la variation du poids de mille grains pour les trois techniques culturales utilisées à savoir le travail conventionnel, le travail minimum et le semis direct :

Tableau 33 : Variation du poids de mille grains pour les trois techniques

	TC	TM	SD
Bloc 1	44,41	45,90	43,53
Bloc 2	47,54	45,39	44,67
Bloc 3	45,48	45,54	45,15
Bloc 4	44,52	45,56	43,83
Moyenne	45,49	45,60	44,29

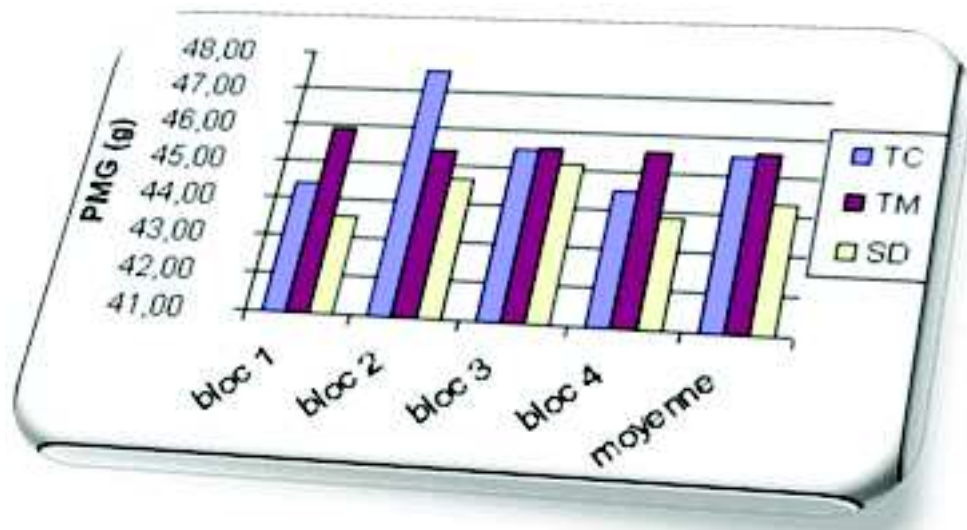


Figure 41 : Variation du poids de mille grains pour les trois techniques

Ce que nous pouvons constater en premier lieu dans la figure et le tableau est l'effet de la technique culturale sur le poids de mille grains. Il apparaît que le poids de mille grains est très rapproché voir égale pour les trois techniques avec un léger retard pour le semis direct, la valeur moyenne enregistrée pour le T.C est de 45,49 g, celle obtenue pour le travail minimum est de 45,6 g et celle du semis direct est de 44,29 g.

L'analyse de la variance montre qu'il n'y a pas d'effet significatif de la technique culturale sur nombre d'épillets/épi.

Tableau 34 : Matrice de corrélation (Pearson n) pour le poids de mille grains

ETUDE DES RESULTATS D'ESSAIS DE DIFFERENTES TECHNIQUES DE SEMIS DU BLE DUR (CHEN'S)

Variables	TC	TM	SD
TC	1		
TM	-0,759	1	
SD	0,628	-0,704	1

- Valeur de r (coefficient de Pearson) compris entre -1 et +1
- (Nombre de mesure = 9)
- Probabilité statistique : p qui examine la signification statistique des corrélations prévues

6. L'indice des techniques culturales sur le rendement parcellaire

Le rendement est le paramètre le plus important et déterminant pour comprendre l'influence des facteurs étudiés sur la culture.

Tous les paramètres étudiés jusqu'ici laissent croire que celui-ci serait plus élevée en travail conventionnel suivi par le semis direct puis le travail minimum, et c'est ce que nous allons voir dans le tableau et l'histogramme qui suivent :

Tableau 35 : Variation du rendement parcellaire pour les trois techniques

	TC	TM	SD
Bloc 1	11,39	11,46	12,9
Bloc 2	17,8	12,69	16,3
Bloc 3	13,25	11,5	12,2
Bloc 4	18,8	12,69	15,6
Moyenne	15,31	12,085	14,25

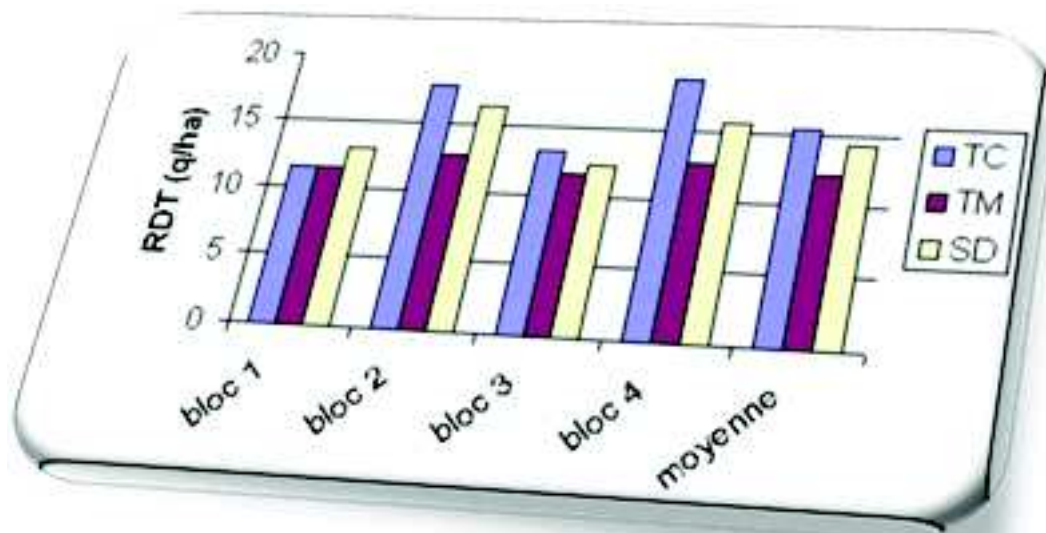


Figure 42 : Variation du rendement parcellaire pour les trois techniques

D'après la figure 42 et le tableau 35, on peut constater que le rendement parcellaire est supérieur dans les parcelles travaillées ou on enregistre un rendement dépassant en moyenne les 15 q/ha contre une moyenne de 14,25 q/ha pour le semis direct et une dernière place pour le travail minimum avec une moyenne nettement inférieure au deux autres technique de 12 q/ha.

Les rendements parcelaires sont de très loin inférieurs aux rendements théoriques avec un écart énorme surtout pour le travail minimum, ou le rendement attendu été de 35,48 q/ha, un déficit de plus de 23 q/ha, pour le travail conventionnel le rendement estimé été de 35,59 q/ha, donc le déficit est plus de 20 q/ha, enfin le semis direct lui aussi n'as pas échappé à la catastrophe avec une estimation de 29,17 q/ha, donc un déficit de presque 15 q/ha. Tout cela est sûrement dû aux pertes énormes au moment de la récolte, autrement dit, aux méthodes de récoltes complètement inappropriées.

Une explication partielle relative aux rendements moins élevés dans le semis direct et le travail minimum réside dans la forte présence de mauvaises herbes particulièrement dans le travail minimum. 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). L'analyse de la variance a montré un effet hautement significatif avec une probabilité.

Tableau 36 : Statistique descriptive pour le rendement parcelaire

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	coefficient de variation
TC	11,390	18,800	15,310	3,559	0,23243417
TM	11,460	12,690	12,085	0,699	0,05782248
SD	12,200	16,300	14,250	2,004	0,14064297

Ce tableau nous donne la variation de la moyenne du rendement pour les trois traitements.

Le coefficient de variation est intéressant pour montrer la variation du paramètre étudié en fonction de la technique culturale

Dans notre cas on constate, que la variation du rendement diffère entre le semis direct, le travail minimum et le travail conventionnel.

Elle varie d'une manière importante pour le travail conventionnel, le coefficient de variation étant égale a 0,23

Pour le semis direct elle varie, où on enregistre un coefficient de variation avoisine 0,14. Par contre pour le travail minimum elle ne varie pas vraiment avec une variation de 0,057.

La matrice de corrélation montre la puissance de la corrélation entre les valeurs du nombre de grains par épi pour le travail conventionnel et le semis direct.

Tableau 37 : Matrice de corrélation (Pearson n) pour le rendement parcelaire

Variabes	TC	TM	SD
TC	1		
TM	0,975	1	
SD	0,903	0,976	1

- Valeur de r (coefficient de Pearson) compris entre -1 et +1
- (Nombre de mesure = 9)
- Probabilité statistique : p qui examine la signification statistique des corrélations prévues

Cette table montre la puissance de corrélation entre les variables étudiées, dans notre cas cette variable est le nombre de grains par épi sous l'effet de deux techniques culturales.

Le coefficient de corrélation (r) varie entre -1 et +1 et mesure la force de corrélation linéaire entre les variables.

Les valeurs de p en dessous de 0,05 indiquent statistiquement des corrélations différentes de zéro significatives au niveau de confiance 95 %.

Pour notre cas le coefficient entre le TC et le TM est égale a 0,975 ce qui veut dire qu'il y a une forte corrélation entre les deux variables et ce qui nous amène à faire une régression de la variable rendement entre le travail minimum et le travail conventionnel.

Pour le coefficient entre le TC et le SD, il est égale a 0,903 ce qui veut dire qu'il y a une forte corrélation entre les deux variables et ce qui nous amène à faire une régression de la variable rendement entre le travail minimum et le travail conventionnel

La même chose pour le coefficient entre le TM et le SD vue qu'il est de 0,976.

- RDT (TC)et RDT (TM) $r = 0.975$
- RDT (TC) et RDT (SD) $r = 0.903$
- RDT (TM) et RDT (SD) $r = 0.976$

6.1. Régression de la variable rendement entre TC et TM

L'analyse de la variance montre qu'il y a un effet significatif de la technique culturale sur le rendement parcellaire entre TC et TM.

Tableau 38 : Analyse de la variance pour rendement entre TC et TM

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	1	36,109	36,109	38,396	0,025
Erreur	2	1,881	0,940		
Total corrigé	3	37,990			

Calculé contre le modèle $Y = \text{Moyenne}(Y)$

D'après l'analyse de la corrélation on constate qu'il y a une forte corrélation entre le rendement pour le travail conventionnel et le rendement pour le travail minimum.

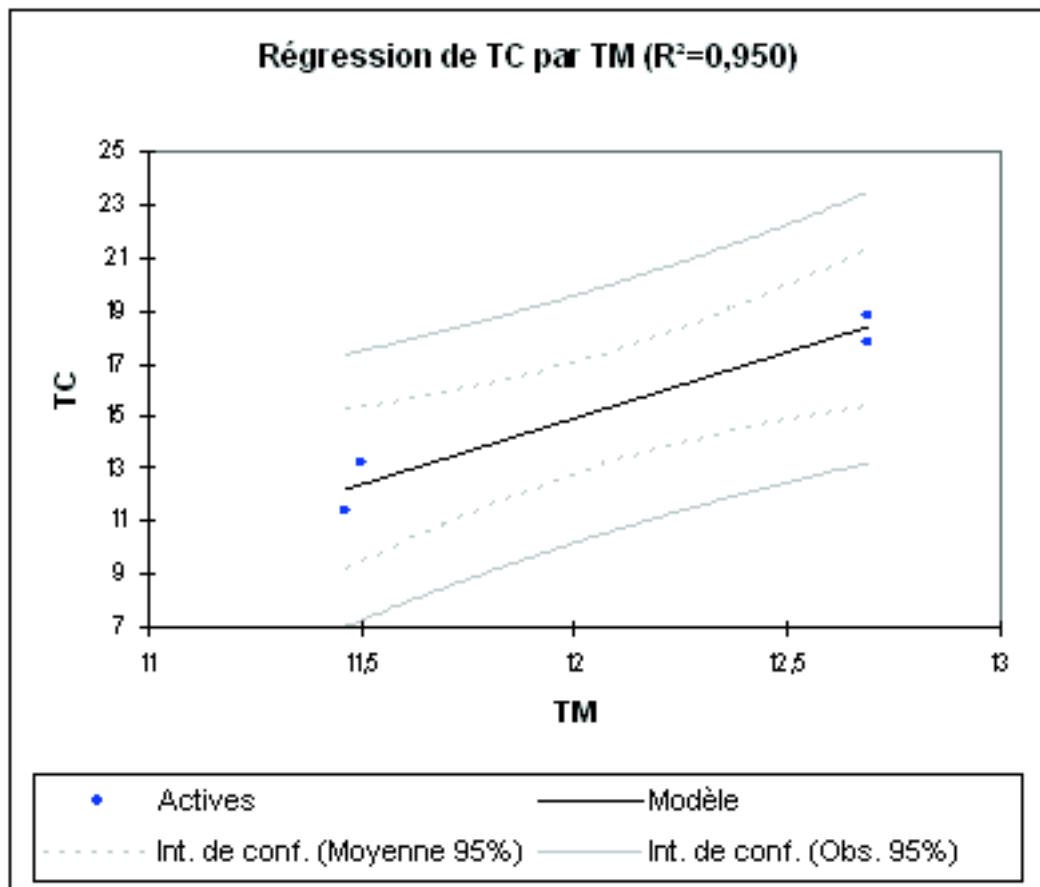


Figure 43 : Courbe représentant la corrélation entre le rendement TC et le rendement TM

L'analyse par régression linéaire, mettant en relation la variable rendement TC avec la variable rendement TM, a donné la relation suivante :

$$RDT (TC) = -44,69 + 4,97 * RDT (TM) \quad (R^2=0,950)$$

Cette relation montre clairement que la technique culturale a un effet certain sur le rendement. Nous constatons d'après cette équation et d'après l'histogramme précédent que les parcelles travaillées avec la charrue à socs, présentent un rendement beaucoup plus élevé par rapport à celles travaillées avec le cultivateur (travail minimum). Cela peut être du à la structure du sol dans les parcelles travaillées qui a favorisée le développement des racines et qui s'est répercuté sur le rendement. Ces remarques font ressortir l'importance des labours par rapport aux techniques simplifiées.

Tenant compte de la valeur de p inférieure à 0,05 dans le tableau d'ANOVA, le modèle établi montre que la relation entre rendement (TC) et rendement (TM) est fortement significative à un niveau de confiance de 95%. Le coefficient de détermination $R^2 = 0,950$ montre que le modèle est expliqué à 95 %. Le coefficient de corrélation est égal à 0,975 indiquant une relation relativement forte entre les variables. Nous en concluons donc que le rendement est fortement influencé par la technique culturale. D'où l'importance de

choisir correctement la technique à mettre en place et les différentes formes des pièces travaillantes.

6.2. Régression de la variable rendement entre TC et SD

L'analyse de la variance montre qu'il y a un effet significatif de la technique culturale sur le rendement parcellaire entre TC et SD.

Tableau 39 : Analyse de la variance pour rendement entre TC et SD

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	1	31,011	31,011	8,887	0,097
Erreur	2	6,979	3,489		
Total corrigé	3	37,990			

Calculé contre le modèle $Y = \text{Moyenne}(Y)$

D'après l'analyse de la corrélation on constate qu'il y a une forte corrélation entre le rendement pour le travail conventionnel et le rendement pour le semis direct.

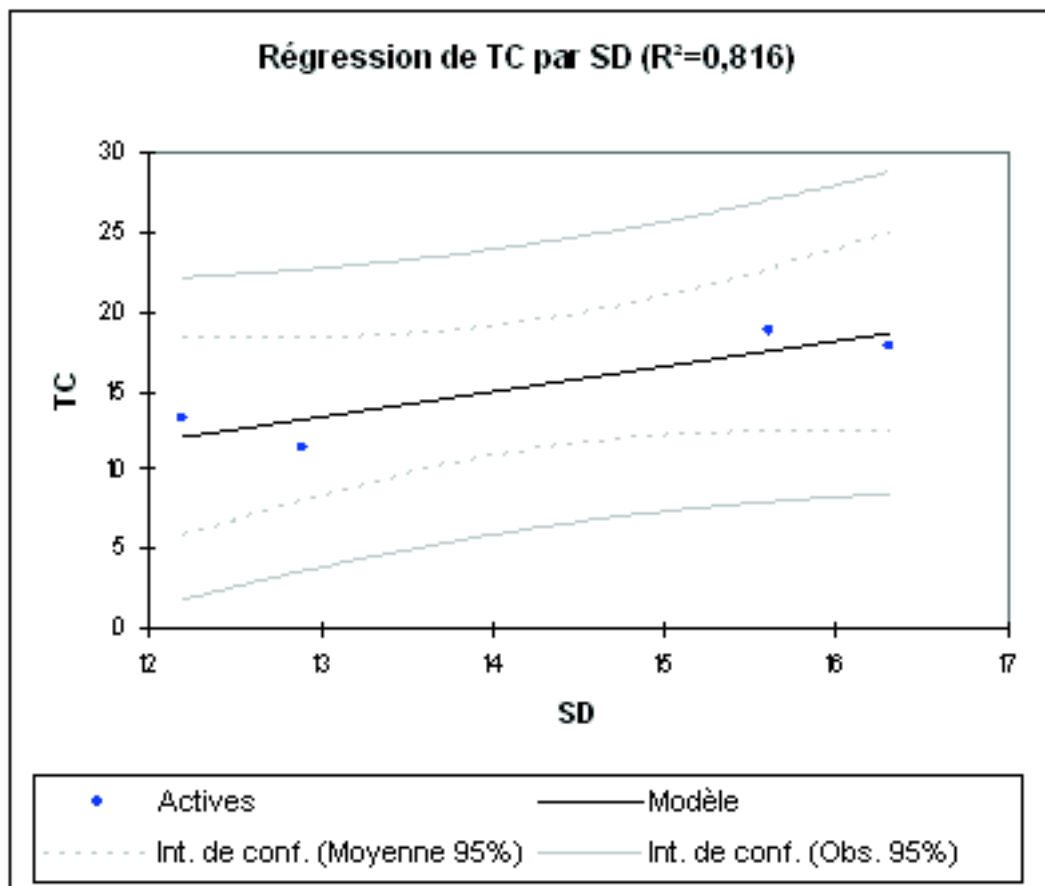


Figure 44 : Courbe représentant la corrélation entre le rendement TC et le rendement SD

L'analyse par régression linéaire, mettant en relation la variable rendement TC avec la variable rendement SD, a donné la relation suivante :

$$RDT (TC) = -7,56 + 1,61 * RDT (SD)$$

$$(R^2=0,816)$$

Cette relation montre clairement que la technique culturale a un effet certain sur le rendement. Nous constatons d'après cette équation que les parcelles travaillées avec la charrue à socs, présentent plus au moins un meilleur rendement par rapport à celles menées en semis direct.

Le coefficient de détermination est de $R^2 = 0,816$, montre que le modèle est expliqué à 81,6 %. Le coefficient de corrélation est égal à 0,903 indiquant une relation relativement forte entre les variables. Nous en concluons donc que le rendement est fortement influencé par la technique culturale. D'où l'importance de choisir correctement la technique à mettre en place et les différentes formes des pièces travaillantes.

6.3 Régression de la variable rendement entre SD et TM

L'analyse de la variance montre qu'il y a un effet significatif de la technique culturale sur le rendement parcellaire entre TM et SD.

Tableau 40 : Analyse de la variance pour rendement entre TM et SD

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	1	1,395	1,395	39,927	0,024
Erreur	2	0,070	0,035		
Total corrigé	3	1,465			

Calculé contre le modèle $Y = \text{Moyenne}(Y)$

D'après l'analyse de la corrélation on constate qu'il y a une forte corrélation entre le rendement pour le semis direct et le travail minimum.

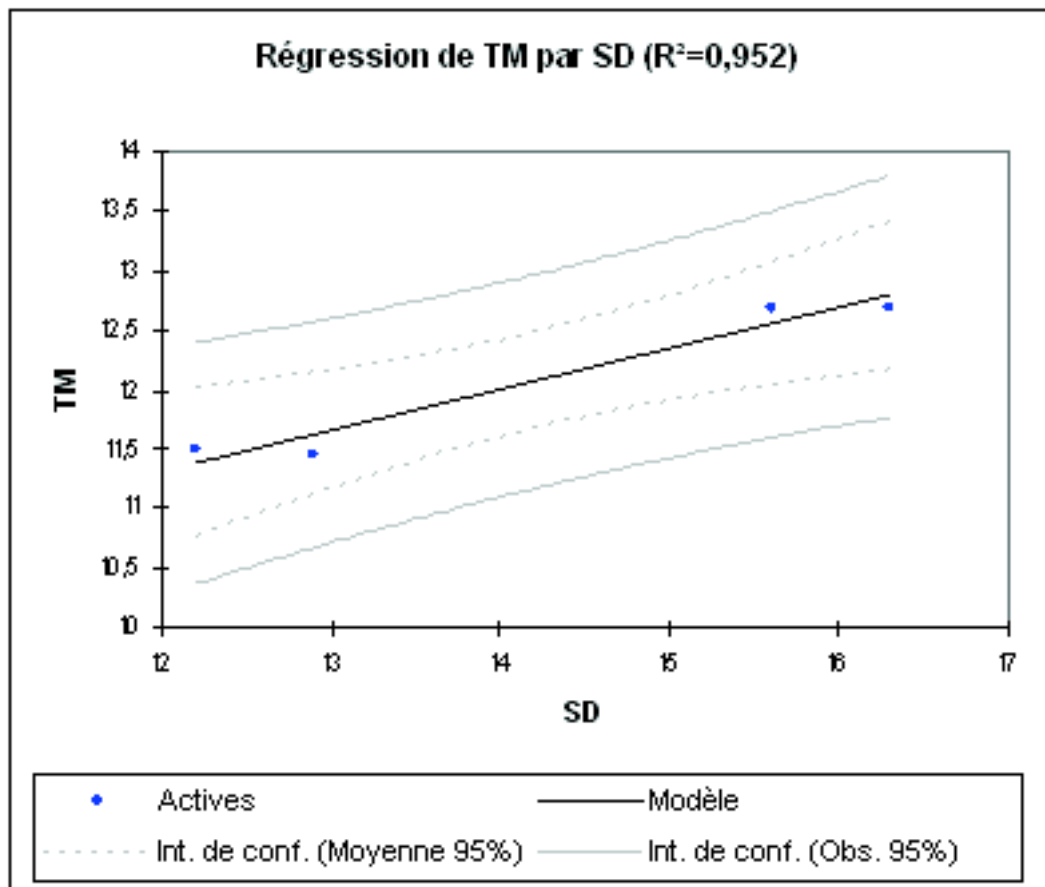


Figure 45 : Courbe représentant la corrélation entre le rendement TM et le rendement SD

L'analyse par régression linéaire, mettant en relation la variable rendement TM avec la variable rendement SD, a donné la relation suivante :

$$RDT(TM) = 7,24 + 0,35 * RDT(SD) \quad (R^2=0,952)$$

Cette relation montre clairement que la technique culturale a un effet certain sur le rendement. Nous constatons d'après cette équation que les parcelles menées en semis direct présentent un meilleur rendement par rapport à celles menées sous travail minimum.

Le coefficient de détermination est de $R^2 = 0,952$, montre que le modèle est expliqué à 95,2 %. Le coefficient de corrélation est égal à 0,976 indiquant une relation relativement forte entre les variables. Nous en concluons donc que le rendement est fortement influencé par la technique culturale. D'où l'importance de choisir correctement la technique à mettre en place, noté bien que le rendement en semis direct est nettement plus élevé par rapport à celui du travail minimum.

7. L'indice des techniques culturales sur le taux de recouvrement par les mauvaises herbes

Les mauvaises herbes réduisent le rendement car elles entrent en concurrence avec la culture pour les ressources environnementales. Déjà dans une culture non - infestée par les mauvaises herbes, il existe une compétition entre les plants pour la lumière, l'eau et les éléments nutritifs. Au moment de la levée, la distance séparant les plants leur permet de croître d'une façon exponentielle, la compétition commence quand les plants s'influencent mutuellement, cela correspond à la densité critique. A ce stade, le poids de plantes par unité de surface en g/m² est appelé poids à la densité critique et il découle de la densité des plants (plants m²) et du poids d'un plant individuel (g/plant), la compétition pour la lumière est due à un ombrage mutuel des plantes. Quand elle existe, la courbe de croissance passe d'une forme exponentielle à une forme linéaire. Pendant la période de croissance, la disponibilité en eau et en éléments nutritifs diminue graduellement suite à la compétition qui existe et les besoins des cultures ne sont pas satisfaits ou incomplètement (pluie, irrigation ou application d'engrais).

Pour la compétition entre une culture et les mauvaises herbes, la densité croissante de mauvaises herbes par rapport à une densité constante de la culture augmente la compétition et provoque une réduction des rendements.

	TC	TM	SD
Bloc 1	6,08	4,83	7,75
Bloc 2	5,83	8,25	4,33
Bloc 3	5,96	6,54	6,04
Bloc 4	5,96	6,54	6,04
Moyenne	5,96	6,54	6,04

Tableau 41 : Variation du taux de recouvrement par les mauvaises herbes pour les trois techniques

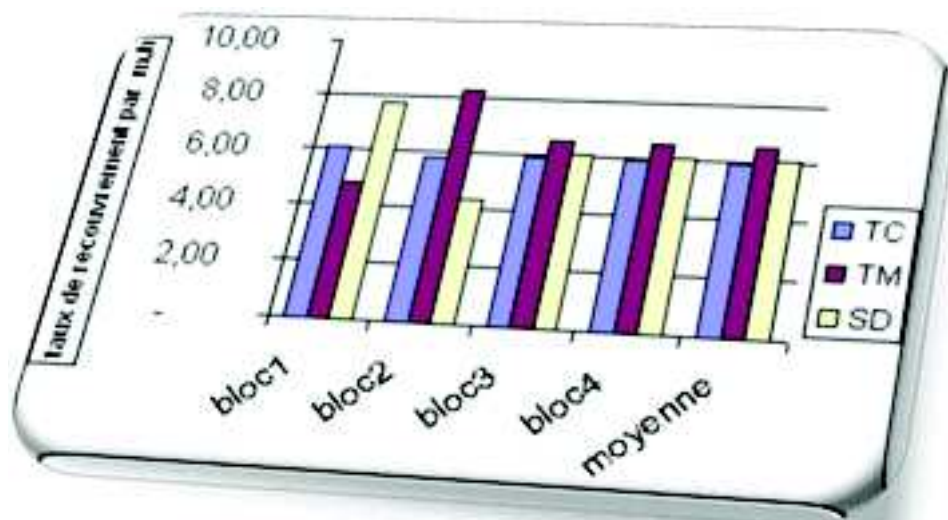


Figure 46 : Variation du taux de recouvrement par les mauvaises herbes pour les trois techniques

Cette figure montre que la présence des mauvaises herbes est supérieure dans le travail minimum avec une moyenne de 6,54, suivi par le semis direct avec une moyenne de 6,04 puis le travail conventionnel avec une moyenne de 5,95.

Pour ce qui est du travail conventionnel le désherbage mécanique a donné ses fruits, même pour ce qui est du semis direct le taux et très proche de celui du travail conventionnel et cela est certainement du au fait que le semis direct est à sa cinquième compagnie, donc pour le problème des mauvaises herbes à partir de la cinquième année les adventice n'imposent pas une grande influence.

8. L'indice des techniques culturales sur le taux de la 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.

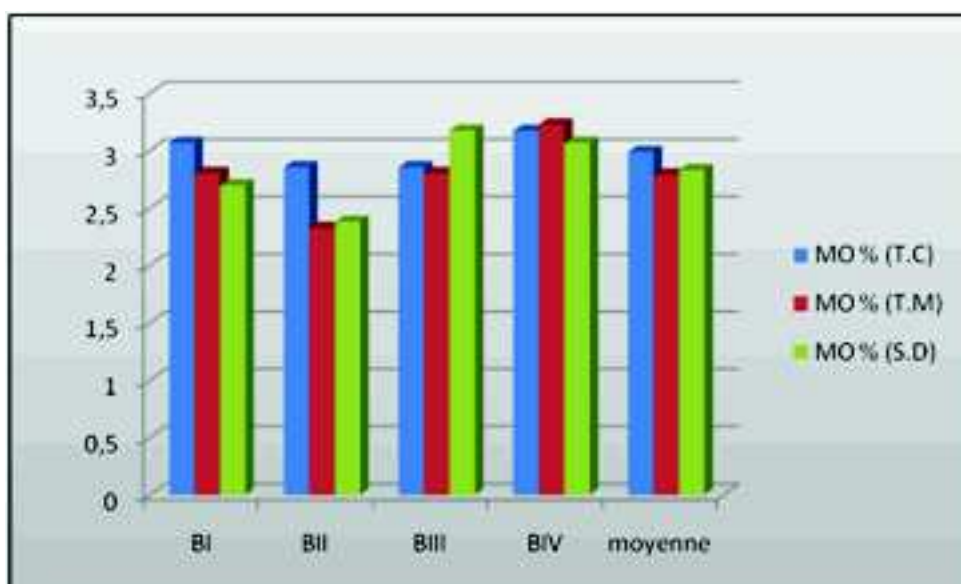


Figure 47 : Variation du taux de matière organique pour les trois techniques

Cette figure montre que la présence de la matière organique est très rapprochée avec un léger avantage pour le travail conventionnel contrairement à ce qui été attendu le semis direct se positionne en deuxième place.

Tableau 42 : Statistique descriptive pour le taux de matière organique

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	coefficient de variation
MO % (T.C)	2,856	3,173	2,988	0,159	0,05309735
MO % (T.M)	2,327	3,226	2,790	0,367	0,13168193
MO % (S.D)	2,380	3,173	2,830	0,363	0,12814308

Ce tableau nous donne la variation du taux de matière organique pour les trois traitements.

Tableau 43 : Matrice de corrélation (Pearson n) pour le taux de matière organique

Variabes	MO % (T.C)	MO % (T.M)	MO % (S.D)
MO % (T.C)	1	0,808	0,276
MO % (T.M)	0,808	1	0,787
MO % (S.D)	0,276	0,787	1

- Valeur de r (coefficient de Pearson) compris entre -1 et +1
- (Nombre de mesure = 9)
- Probabilité statistique : p qui examine la signification statistique des corrélations prévues

Cette table montre la puissance de corrélation entre les variables étudiées, dans notre cas cette variable est le taux de matière organique sous l'effet de trois techniques culturales.

Les résultats montrent qu'il n'y a pas de corrélation entre les différentes variables.

Conclusion

Au regard des résultats, il apparaît que les trois techniques culturales ont un effet sur le rendement de la culture de blé dur en raison probablement de modifications de la structure du sol, celle ayant un impact direct sur les réserves en eau ainsi que sur les propriétés mécaniques du sol d'où sur le développement du système racinaire. Le travail conventionnel présente le nombre d'épillets par épi le plus élevé avec 16,3, le nombre de grains par épi le plus élevé (51,43 grains/épi), ainsi le taux de matière organique le plus élevé (2,98) et enfin, le poids de mille grains le plus élevé (45,49 g), ce qui justifie un rendement plus élevé (15,31 qx/ha). Le taux de mauvaises herbes le plus élevé est enregistré dans le travail minimum avec une valeur de 6,54, le nombre d'épis/m² est de 142,85 ; 152,15 ; 155,9 respectivement pour les traitements semis direct, travail conventionnel et travail minimum. La hauteur des tiges la plus élevée est enregistrée chez le semis direct avec (70,5 cm). L'analyse de ces valeurs montre que le rendement est influencé par les différentes techniques du travail du sol, le meilleur rendement du blé dur est obtenu dans le travail profond, il est de 15,31 qx/ha. Les deux autres traitements donnent également des rendements de 14,25 qx/ha et 12,085qx/ha pour respectivement le semis direct et le travail minimum.

D'après les résultats de ce chapitre on a pu conclure que les techniques culturales ont un effet certain sur le rendement et ses composantes, les meilleurs rendements ont été obtenus au niveau des parcelles travaillées avec la charrue et juste derrière ceux du semis direct avec un léger retard, et c'était les conséquences du choix des techniques à mettre en place vu que le travail minimum a eu un grand retard par rapport aux deux autres techniques.

Conclusion générale

L'objectif de ce travail est d'étudier les résultats de différentes techniques culturales du travail du sol (travail conventionnel, travail minimum et semis direct) puis comparer leurs effets sur les propriétés physiques et mécanique (humidité, porosité et résistance pénétrométrique) d'un sol argileux-limono et leurs conséquences sur le rendement et ses composantes pour une culture de blé dur (*Chen's*).

Ce travail porte essentiellement sur une analyse de l'évolution de la teneur en eau, de la porosité et de la résistance pénétrométrique du sol sous l'effet de trois techniques culturales à savoir le travail du sol classique, le travail minimum et le semis direct pour la mise en place d'une céréale blé dur. Nous avons analysé les paramètres physico mécaniques du sol tout au long du cycle de développement de la plante et nous avons suivi le rendement pour voir les conséquences de l'effet des techniques culturales sur le sol et la plante.

L'examen de l'ensemble des résultats portés sur l'effet des techniques culturales sur les propriétés du sol et conséquence sur le rendement, permet de tirer les conclusions suivantes :

Il y a un effet certain des passages des différents outils aratoires sur la résistance pénétrométrique du sol, la résistance mécanique est beaucoup plus élevée dans les sols menés en semis direct puis dans ceux menés en travail minimum par rapport à ceux travaillés avec la méthode conventionnelle. Toutefois nous avons pu constater que la teneur en eau est plus présente chez le semis direct avec plus d'effet sur les composantes du rendement. Et pour mettre en évidence cet effet une quantification de l'effet de l'humidité du sol sur les composantes du rendement doit être réalisée. Nous avons tiré conclusion que la teneur en eau est fortement influencée par la technique culturale, d'où l'importance de choisir correctement le type des pièces travaillantes voir complètement les éviter.

La structure du sol est principalement créée par les opérations de travail du sol tandis que dans les systèmes non travaillés (travail minimum et semis direct) la structure est principalement créée par l'action du climat (en surface dans les régions tempérées) et par des processus biologiques. Cependant, une application à long terme des techniques sans retournement du sol voir du semis direct peut se manifester par des couches superficielles du sol se réchauffant plus lentement et présentant une plus forte teneur en eau en comparaison avec des sols travaillés conventionnellement. Ceci peut donner lieu à un ensemble de conditions de croissance plus favorables durant la période de développement des cultures au niveau du semis direct. Les choix en matière de travail du sol, au niveau de l'exploitation, doivent entre autre, tenir compte de l'effet qu'aura ou non le travail sur les propriétés du sol, grâce auxquelles se fera l'alimentation en eau et en éléments minéraux durant tout le cycle de développement de la culture.

Concernant l'influence des techniques culturales sur le rendement et ses composantes, les résultats ont montré que le travail conventionnel présente le nombre d'épilletts par épi le plus élevé avec 16,3épilletts/épi, le nombre de grains par épi le plus élevé avec une moyenne de 51,43 grains/épi, ainsi qu'un taux de matière organique plus élevé avec 2,98 et enfin, un poids de mille grains supérieur avec 45,49 g, ce qui justifie que son rendement est le plus élevé avoisinant les 16 q/ha. Toutefois les rendements des trois techniques ont été incroyablement faibles et cela est certainement dû aux négligences énormes des suivis de

la culture et aux mauvais réglages et mauvaise utilisation de la moissonneuse batteuse, Le taux de mauvaises herbes le plus élevé est enregistré dans le travail minimum avec une valeur de 6,54, le nombre d'épis/m² est de 142,85 ; 152,15 ; 155,9 respectivement pour les traitements semis direct, travail conventionnel et travail minimum. L'hauteur des tiges la plus élevée est enregistrée chez le semis direct avec 70,5 cm.

Les techniques de préparation du sol modifient nettement le comportement du sol vis-à-vis de la porosité de la résistance pénétrométrique et particulièrement sur la conservation de l'eau. Le choix des techniques a donc un effet certain sur le développement des cultures.

Dans les pays à climat tempéré, le labour reste une technique tout à fait adaptée, mais les techniques culturales simplifiées trouvent un écho favorable notamment pour leur intérêt économique. En remettant en cause l'outil le plus symbolique de l'agriculture, les techniques culturales simplifiées ont réalisé une vraie révolution dans les pays à écosystème fragile comme les pays tropicaux.

Notre travail s'est résumé en un constat qui a mis en évidence l'action des techniques culturales sur l'évolution de l'état structural du sol, ainsi que leur sur l'évolution de la plante, à cet effet il sera très intéressant de compléter cette étude par d'autres essais mais dans d'autres zone d'études différentes en Algérie afin de répondre aux soucis des agriculteurs algériens le mieux possible.

Concernant l'introduction des techniques simplifiées en Algérie, elle sera favorable au niveau des régions caractérisées par des sols à texture très fragile voire sableuse, donc elle sera propice en culture sous pivot dans les zones sahariennes, avec une bonne maîtrise de la fertilisation et de la lutte chimique.

Malgré le nombre de résultats obtenus dans ce travail, cette expérimentation aurait donné de meilleures indications sur les techniques culturales si la durée était plus longue. D'après de nombreux chercheurs, un minimum d'une rotation triennale au minimum est nécessaire pour observer des différences significatives et commencer à apprécier les bénéfiques du semis direct. Enfin, il ne faut pas oublier qu'une technique culturale peut être favorable ou non selon que la pluviométrie de la campagne agricole est bonne ou inversement et selon le type du sol voir adéquat ou non, donc nous recommandons qu'il serait intéressant voir même nécessaire de renforcer les systèmes de la recherche agronomique en vue de couvrir l'ensemble des écosystèmes algériens. Les priorités peuvent être données aux recherches sur les systèmes de travail du sol dans tous leurs aspects.

Références bibliographiques

- Abdellaoui, Z., Fettih, S. et Zaghouane, O. (2006). Etude comparative de l'effet du semis direct et du labour conventionnel sur le comportement d'une culture de blé dur en conditions pluviales. Dans : 3èmes Rencontres Méditerranéennes du Semis Direct, Saragosse (Espagne), 23-25 mars 2006.
- AL-KAISI M.M. AND YIN X.H., 2005. Tillage and crop residue effects on soil carbon and carbon dioxide emission in cornsoybean rotations. *Journal of Environmental Quality* 34, 437-445.
- ALVAREZ R., DIAZ R.A., BARBERO N., SANTANATOGLIA O.J. AND BLOTTA L., 1995. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from three tillage systems. *Soil & Tillage Research* 33, 17-28.
- Amara M., 2007 – Contribution à la modélisation interface outils aratoires sol Optimisation de la forme et de l'effort de résistance à la traction des corps de charrues à socs et des outils à dents. Thèse de doctorat. agr. ENSA. El harrache. Alger. Annexes.
- Amir, Y., D.Djabri, H.Guellil, and A.Youyou. 2004. Influence of environmental factors on the quality of wheat grown in Algeria. *Food Agric. and Envir.* Vol. 2 (2) 315-319.
- Andersen, A. 1999. Plant protection in spring cereal production with reduced tillage. II. Pests and beneficial insects. *Crop Protection*, 18, 651-657.
- Angers, D. A. & Caron, J. 1998. Plant-induced changes in soil structure: processes and feedbacks. *Biogeochemistry*, 42, 55-72.
- Angers, D. A., Samson, N. & Legere, A. 1993. Early changes in water-stable aggregation induced by rotation and tillage in a soil under barley production. *Canadian Journal of Soil Science*, 73, 51-59.
- Anken, T., Weisskopf, P., Zihlmann, U., Forrer, H., Jansa, J. & Perhacova, K. 2004. Long-term tillage system effects under moist cool conditions in Switzerland. *Soil & Tillage Research*, 78, 171-183.
- Arabi, M. et Roose, E. (1989). Influence du système de production et du sol sur l'érosion et le ruissellement en nappe en milieu montagnard méditerranéen (station de Ouezra, Algérie). Réseau d'érosion. Bulletin No. 9. ORSTOM, Montpellier.
- Arrouays et al. 2002
- Arshad, M. A., Franzluebbers, A. J. & Azooz, R. H. 1999. Components of surface soil structure under conventional and no-tillage in northwestern Canada. *Soil & Tillage Research*, 53, 41-47.
- Azooz, R. H. & Arshad, M. A. 1996. Soil infiltration and hydraulic conductivity under longterm no-tillage and conventional tillage systems. *Canadian Journal of Soil Science*, 76, 143-152.

- Balabane M.F. Bureau, T. Decaens, M. Akpa, M. Hedde, K. Laval, P. Puget B. Pawlak Et S. Barry, D. Cluzeau, J. Labreuche Et J.M. Bodet, Y. Le Bissonnais, P. Saulas, M. Bertrand, L. Guichard, D. Picard, S. Houot, D. Arrouays, Y. Brygoo, C. Chenu. 2005. Restauration de fonctions et propriétés des sols de grande culture intensive. Effets de systèmes de culture alternative sur les matières organiques et la structure des sols limoneux et approche du rôle fonctionnel de la diversité biologique des sols. Dmostra. Réponse à appel d'offres du MATE, INRA.
- Baldy, C. 1973. Progrès récents concernant l'étude du système racinaire du blé. *Ann.Agron.* 24 (2).
- Baldy, C. 1974. Contribution à l'étude fréquentielle des conditions climatiques. Leurs influences sur la production des principales zones céréalières d'Algérie. Projet céréales
- BALESDENT J. 2002. Estimations chiffrées, par unité de surface, du stockage de carbone dans le sol associé aux changements de pratiques agricoles. In Expertise INRA. Stocker du carbone dans les sols agricoles. D. Arrouays Ed, Editions INRA. pp 115-200.
- Balesdent, J., Chenu, C. & Balabane, M. 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil & Tillage Research*, 53, 215-230.
- Ball, B. C., Cheshire, M. V., Robertson, E. A. G. & Hunter, E. A. 1996. Carbohydrate composition in relation to structural stability, compactibility and plasticity of two soils in a long-term experiment. *Soil & Tillage Research*, 39, 143-160.
- Ball, B.C., R.W. Lang, E.A.G. Robertson, and M.F. Franklin. 1994. Crop performance and soil conditions on imperfectly drained loams after 20-25 years of conventional tillage or direct drilling. *Soil & Tillage Research* 31:97-118.
- Barriuso, E., Calvet, R. & Cure, B. 1994. Incidence de la simplification du travail du sol sur le comportement des produits phytosanitaires : conséquences sur les risques de pollution. In Monnier, G., Thevenet, G., Lesaffre, B. (eds.), *Simplification du travail du sol*, Vol. 65, INRA éditions, Paris (France), pp. 105-124.
- Barthélémy P., Boisgontier D et Lajoux P., 1987 – choisir les outils de travail du sol. Ed ITCF.france. 1987.
- BARTHELEMY P., BOISGONTIER D., LAJOUX P. ; 1992. Choisir les outils de travail du sol. Collection Choisir les outils. ITCF.
- Barthélemy R., Boisgontier D ; Coste J.L et Gillet J.P 1994 – simplification du travail du sol : les derniers acquis, éd. INRA, n° 194, pp 39-78.
- Barthélemy R., Boisgontier D ; Coste J.L et Gillet J.P 1994 – simplification du travail du sol : les derniers acquis, éd. INRA, n° 194, pp 39-78.
- BASCH G., CARVALHO M., DÜRING R., MARTINS R. ; 1995. Displacement of herbicides under different tillage systems. Experience with the applicability of no-tillage crop production in the West-European countries, Concerted action. Giessen, 25-38.
- Basic, F., Kistic, I., Mesic, M., Nestroy, O. & Butorac, A. 2004. Tillage and crop management effects on soil erosion in central Croatia. *Soil & Tillage Research*, 78, 197-206.

- Baumhardt, R. L. & Jones, O. R. 2002. Residue management and tillage effects on soilwater storage and grain yield of dryland wheat and sorghum for a clay loam in Texas. *Soil & Tillage Research*, 68, 71-82.
- Beare, M.H., P.F. Hendrix, and D.C. Coleman. 1994. Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional- and no-tillage soils. *Soil Science Society of America Journal* 58:777-786.
- Belaid, A.2002.Durum production shortfalls in North Africa: Some facts. *ICARDA Caravan*.16: 42–43.
- Benbelkacem, A., et K. Kellou. 2004. Evaluation du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum Turgidum* L. var.durum) cultivées en Algérie. *CIHEAM Options Mediterraneennes*.
- Bescansa, P., Imaz, M. J., Virto, I., Enrique, A. & Hoogmoed, W. B. 2006. Soil water retention as affected by tillage and residue management in semiarid Spain. *Soil & Tillage Research*, 87, 19-27.
- Bhattacharyya, R., Prakash, V., Kundu, S. & Gupta, H. S. 2006. Effect of tillage and crop rotations on pore size distribution and soil hydraulic conductivity in sandy clay loam soil of the Indian Himalayas. *Soil & Tillage Research*, 86, 129-140.
- Blanco-Canqui, H., Gantzer, C. J., Anderson, S. H. & Alberts, E. E. 2004. Tillage and crop influences on physical properties for an Epiqualf. *Soil Science Society of America Journal*, 68, 567-576.
- Blevins, R. L., Thomas, G. W., Smith, M. S., Frye, W. W. & Cornelius, P. L. 1983. Changes in soil properties after 10 years continuous non-tilled and conventionally tilled corn. *Soil & Tillage Research*, 3, 135-146.
- Blum, A., and Y. Pnuel.1990. Physiological attributes associated with drought resistance of wheat cultivars in a Mediterranean environment. *Aust. J. Agric. Res.* 41: 799-810.
- Boiffin.J. et Marin-Lafleche.A. 1990 'la structure du sol et son évolution : Conséquences agronomiques, maîtrise par l'agriculteur. Edit le colloque de l'INRA. N°53, 216p.
- Boisgontier. D ; Costes. J.L et Gillet. J.P (1994) : Travail du sol ; réussir l'implantation, I.T.C.F. Perspectives agricoles, France, n° 194.pp 39 – 78.
- Boulal H., Zaghoun O., El Mourid M.R.S., 2007 – guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blé et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie).Ed.ITGC – Alger, 2007, 176p.
- Bouzerzour, H. (1983). Soil disturbance and residue management effects on soil temperature, soil water and winter wheat growth and yield. MS Thesis, University of Nebraska Lincoln, 80 pp.
- Bouzza, A. 1992. Conservation tillage in cereal production systems in Morocco: A future perspective. In: Bourarach, E.H., Oussible, M., Bouaziz, A., El Himdy, B. (Eds.). *Proceedings of international seminar on tillage in arid and semiarid areas*. April 1992. Rabat, Morocco. pp. 248.
- Bouzza. A. 1990. 'Water conservation in wheat rotations under several management and tillage systems in semi-arid areas' These doctorat, Nebraska, pp. 3-97.
- Bronick, C. J. & Lal, R. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124, 3-22.

- Burnett, E. and Hauser, V.L 1968: Deep tillage and soil-plant- water relationship. journal of soil and water conservation. Dec-Oct 1968.pp. 47-52.
- Callot et al., 1988 – Mieux comprendre les interactions sol – racine. Ed. INRA France, 325p.
- Carof, M., de Tourdonnet, S., Saulas, P., Le Floch, D. & Roger-Estrade, J. submitted-a. Intercropping winter wheat (*Triticum aestivum* L.) with different living cover crops in a no-till management system (I): effects of living cover crop on wheat grain yield and its components. *Agronomy for Sustainable Development*.
- Carof, M., de Tourdonnet, S., Saulas, P., Le Floch, D. & Roger-Estrade, J. submitted-b. Intercropping winter wheat (*Triticum aestivum* L.) with different living cover crops in a no-till management system (II): competition or facilitation for light and nitrogen. *Agronomy for Sustainable Development*.
- Cerdan, 2001)
- CHASSOT, A., P. STAMP, and W. RICHNER. 2001. Root distribution and morphology of maize seedlings as affected by tillage and fertilizer placement. *Plant and Soil* 231:123-135.
- Chenu C., Le Bissonnais Y., Arrouays D., 2000 - Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. *Soil Sci. Soc. Am. J*, vol 64, pp 1479-1486.
- Chenu, C., Y. Le Bissonnais, and D. Arrouays. 2000. Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. *Soil Science Society of America Journal* 64:1479-1486.
- CIC. 2000. Direction de l'adaptation et de la politique des grains. *Agric. Agro. Vol.13 n °11*. Canada.
- Ciha, A.J. (1982). Yield and yield components of four spring wheat cultivars grown under three tillage systems. *Agron. J.*, 74 : 317-320.
- Clement.M. Grandcourt et J.Prats. 1971. "les céréales". Edit.J.Bailliere et fils. 351 p.
- Cochran, V.L. Elliot, L.F. et Papendick, R.I. (1982). Effect of crop residue management and tillage on water use efficiency and yield of winter wheat. *Agron. J.*, 74 : 929-932.
- COLBACH N., ROGER-ESTRADE J., CHAUVEL B., CANEILL J. ; 2000. Modelling vertical and lateral seed bank movements during mouldboard ploughing. *Eur. J. Agron.*, 13, 111-124.
- Consentino, D., C. Chenu, and Y. Le Bissonnais. 2006. Aggregate stability and microbial community dynamics under drying-wetting cycles in a silt loam soil. *Soil Biology & Biochemistry* 38:2053-2062.
- Coquet, Y., Vachier, P. & Labat, C. 2005. Vertical variation of near-saturated hydraulic conductivity in three soil profiles. *Geoderma*, 126, 181-191.
- CORTET, J., D. RONCE, N. POINSOT-BALAGUER, C. BEAUFRETON, A. CHABERT, P. VIAUX, and J.P.C.D. FONSECA. 2002. Impacts of different agricultural practices on the biodiversity of microarthropod communities in arable crop systems. *European Journal of Soil Biology* 38:239-244.
- Couvreur.F. 1981. "La culture du blé se raisonne", *Cultivar*. Juin 1981, ITCF. pp, 39-41.

- CUNNINGHAM, H.M., K. CHANEY, R.B. BRADBURY, and A. WILCOX. 2004. Non-inversion tillage and farmland birds: a review with special reference to the UK and Europe. *Ibis* (London) 146:192-202.
- Dalleine.E. 1971. "Techniques agricoles", fascicule n°504, CNEEMA, le chisel et le cultivateur n°163, pp 163-168.
- Dalleine.E. 1981. "Labours de printemps en limon humide", CEMAGREF, Bull n°283-284, pp 12-15.
- Dalleine.E. 1974. "La préparation des terres et le labour de qualité", édit CNEEMA, n°193 et 194, pp 13-18.
- Dao, T. H. 1993. Tillage and winter wheat residue management effects on water infiltration and storage. *Soil Science Society of America Journal*, 57, 1586-1595.
- Debaeke, P. & Orlando, D. 1994. Simplification du travail du sol et évolution de la flore adventice : conséquences pour le désherbage à l'échelle de la rotation. In Monnier, G., Thevenet, G., Lesaffre, B. (eds.), *Simplification du travail du sol*, INRA éditions, Paris (France), pp. 35-62.
- Demmak, A. (1982). Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. Thèse de docteur ingénieur. Université Pierre et Marie Curie, Paris. Options Méditerranéennes, Série A, Numéro 69 187
- DESTAIN M.-F. ; 1994. Useful measurement techniques for comparing soil structure resulting from conventional cultivation and no-tillage. Experience with the applicability of no-tillage crop production in the West-European countries, Concerted action. Giessen, 69-80.
- Dexter, A. R. 1991. Amelioration of soil by natural processes. *Soil & Tillage Research*, 20, 87-100.
- Dexter, A. R. 1997. Physical properties of tilled soils. *Soil & Tillage Research*, 43, 41-63.
- Diaz-Ravina, M., J. Bueno, S.J. Gonzalez-Prieto, and T. CARBALLAS. 2005. Cultivation effects on biochemical properties, C storage and 15N natural abundance in the 0-5 cm layer of an acidic soil from temperate humid zone. *Soil & Tillage Research* 84:216-221.
- Dilly, O., H.P. Blume, and J.C. Munch. 2003. Soil microbial activities in Luvisols and Anthrosols during 9 years of region-typical tillage and fertilisation practices in northern Germany. *Biogeochemistry* 65:319-339.
- Dittmer, S., and S. Schrader. 2000. Long term effects of soil compaction and tillage on Collembola and straw decomposition in arable soil. *Pedobiologia* 44:527-538.
- Don Lobb., 2003 - Semis direct : les secrets de la réussite in les pratiques de gestion optimales. Pp 1- 6.
- Doran, J. W. 1980. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Science Society of America Journal*, 44, 765-771..
- DORING T.F., BRANDT M., HESS J., FINCKH M.R. AND SAUCKE H., 2005 Effects of straw mulch on soil nitrate dynamics, weeds, yield and soil erosion in organically grown potatoes. *Field Crops Research* 94, 238-249.
- Dorioz, J. M., Robert, M. & Chenu, C. 1993. The role of roots, fungi and bacteria on clay particle organization. An experimental approach. *Geoderma*, 56, 179-194.

- DOUGLAS, J.T., M.G. JARVIS, K.R. HOWSE, and M.J. GOSS. 1986. Structure of a silty soil in relation to management. *Journal of Soil Science* 37:137-151.
- DUMONTET, S., A. MAZZATURA, C. CASUCCI, and P. PERUCCI. 2001. Effectiveness of microbial indexes in discriminating interactive effects of tillage and crop rotations in a Vertic Ustorthens. *Biology and Fertility of Soils* 34:411-416.
- Duthil J., 1973 -Eléments d'écologie et d'agronomie. Tome II. Ed J. BAILLIERE, Paris VI, 265p.
- Edwards, C. A. & Lofty, J. R. 1982. The effect of direct drilling and minimal cultivation on earthworm populations. *Journal of Applied Ecology*, 19, 723-734.
- El Titi, A. 2003a. Effects of tillage on invertebrates in soil ecosystems, p. 261-296, In A. El Titi, ed. *Soil tillage in agroecosystems*. CRC Press, New-York (USA).
- El Titi, A. 2003b. Interactions between tillage and earthworms in agroecosystems, p. 229-260, In A. El Titi, ed. *Soil tillage in agroecosystems*. CRC Press, New-York (USA).
- El Titi, A. 2005. Responses of *Deroceras reticulatum* to the annual effects during the last three years. *Bulletin OILB/SROP* 28:59-63.
- El Titi, A. and IPACH U. 1989. Soil fauna in sustainable agriculture: results of an integrated farming system at Lautenbach, F.R.G. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 27, 561-572.
- Epperlein, J. 2003. Development of the biological activity in different tillage systems Conservation agriculture: environment, farmers experiences, innovations, socio-economy, policy. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht Netherlands.
- F.A.O. 2003 - La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (F.A.O.), Rome.
- FAO-UNESCO 1974. Soil map of the world, 1:5 000 000. FAO, Roma (Italy).
- Feliachi, K. (2000). Programme de développement de la céréaliculture en Algérie. Dans : Actes du premier symposium international sur la filière blé 2000 - Enjeux et stratégies, Alger (Algérie), 7-9 février 2000, pp. 21-27.
- Fenster , C.R and G.A.Peterson, 1979: Effects of no-tillage fallow as compared to conventional tillage in a wheat fallow system. UNL-Nebraska-Lincoln research bulletin 289p.Oct.1979
- Ferreras, L. A., Costa, J. L., Garcia, F. O. & Pecorari, C. 2000. Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern "Pampa" of Argentina. *Soil & Tillage Research*, 54, 31-39.
- Findeling, A., Ruy, S. & Scopel, E. 2003. Modeling the effects of a partial residue mulch on runoff using a physically based approach. *Journal of Hydrology*, 275, 49-66.
- Fragoso, C., Brown, G. G., Patron, J. C., Blanchart, E., Lavelle, P., Pashanasi, B., Senapati, B. & Kumar, T. 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: the role of earthworms. *Applied Soil Ecology*, 6, 17-35.
- Frey, S. D., Elliott, E. T. & Paustian, K. 1999. Bacterial and fungal abundance and biomass in conventional and no-tillage agroecosystems along two climatic gradients. *Soil Biology & Biochemistry*, 31, 573-585.

- Friebe, B. 1992 a. Entwicklung der Makro- und Mesofauna unter dem Einfluß langfristig differenzierter Bodenbearbeitung., p. 117-130, In B. Friebe, ed. Wechselwirkungen von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden. Beiträge zum 3. Symposium vom 12.-13. Mai 1992 in Gießen. Wiss. Fachverlag Dr. Fleck, Giessen.
- Friedel, J.K., J.C. Munch, and W.R. Fischer. 1996. Soil microbial properties and the assessment of available soil organic matter in a Haplic Luvisol after several years of different cultivation and crop rotation. *Soil Biology & Biochemistry* 28:479-488.
- Fuentes, J. P., Flury, M. & Bezdicek, D. F. 2004. Hydraulic properties in a silt loam soil under natural prairie, conventional till, and no-till. *Soil Science Society of America Journal*, 68, 1679-1688.
- GASTON L.A., D.J. BOQUET, AND M.A. BOSCH, 2003. Fluometuron sorption and degradation in cores of silt loam soil from different tillage and cover crop systems. *Soil Science Society of America Journal* 67:747-755.
- GERMON J.C, TAUREAU J.C., THOMAS J.M., 1994. Effets des méthodes simplifiées de travail du sol sur les transformations de l'azote et leurs conséquences sur le lessivage des nitrates. Simplification du travail du sol. Colloque 16 mai 1991. Paris. INRA., 65, 125-154.
- Gisin, H. 1943. Ökologie und Lebensgemeinschaften der Collembolen im Schweizerischen Exkursionsgebiet Basels. *Revue Suisse de Zoologie* 50:131-224.
- Glen, D. M. & Symondson, O. C. 2003. Influence of soil tillage on slugs and their natural enemies. In El Titi, A. (ed.), *Soil tillage in agroecosystems*, CRC Press, New-York (USA), pp. 207-227.
- Griesbach, J.C. 1993. The present state of soil resources in the Mediterranean countries. In. *Cahiers Options Méditerranéennes*, Vol. 1. Etat de l'agriculture en Méditerranée. pp. 9-22.
- GROSS U., 1995. No-tillage as a tool to protect soil surface structure. *Concerted action n°2*, 93-99.
- Guérif, J. 1994. Influence de la simplification du travail du sol sur l'état structural des horizons de surface : conséquences sur leurs propriétés physiques et leurs comportements mécaniques. In Monnier, G., Thevenet, G., Lesaffre, B. (eds.), *Simplification du travail du sol*, Vol. 65, INRA éditions, Paris (France), pp. 13-33.
- Halitim, A. 1988. *Sols des régions arides d'Algérie*. Office des publications universitaire, Alger. 384p.
- Hallaire V., M. Lamandé, and D. Heddadj, 2004. Effet de l'activité biologique sur la structure de sols soumis à différentes pratiques culturales. Impact sur leurs propriétés de transfert. *Etude et Gestion des Sols* 11:47-58.
- Hallaire, V. 1988. La fissuration d'un sol argileux au cours du dessèchement. I. Description in situ. *Agronomie*, 8, 139-145.
- Halvorson, A. D., Wienhold, B. J. & Black, A. L. 2001. Tillage and nitrogen fertilization influence grain and soil nitrogen in an annual cropping system. *Agronomy Journal*, 93, 836-841.
- Hangen E., Buczko U., Bens O., Brunotte J. and Huttl R.F., 2001. Infiltration patterns into two soils under conventional and conservation tillage: influence of the spatial

- distribution of plant root structures and soil animal activity. *Soil & Tillage Research* 63, 181-186.
- Haynes, R. J. & Beare, M. H. 1997. Influence of six crop species on aggregate stability and some labile organic matter fractions. *Soil Biology & Biochemistry*, 29, 1647-1653.
- Haynes, R. J. & Naidu, R. 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 51, 123-137.
- Heddadj D., Gascuel-Oudou C., Cotinet P., Hamon Y., 2005. Mode de travail du sol, ruissellement et propriétés hydrodynamiques sur un dispositif expérimental de l'Ouest de la France, *Etude et gestion des sols* 12, 1, 2005: 53-66.
- HEDDADJ D., GASCUEL-ODOUX C., COTINET P., HAMON Y., 2005. Mode de travail du sol, ruissellement et propriétés hydrodynamiques sur un dispositif expérimental de l'Ouest de la France, *Etude et gestion des sols* 12, 1, 2005: 53-66.
- Henin S., Gras R., Monnier G., 1969 - Le profil cultural: l'état physique du sol et ces conséquences agronomiques. Masson et Cie, Paris, 332 p.
- Holland J.M., 2004 The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 103, 1-25.
- Holmes, J.W, Greacen, E.L. and Gurr C.G. cited by Sims, H.J. 1977. Cultivation and fallowing practices. In 'soil factors in crop production in a semi-arid environment'. (Eds. J.S.Russel and E.L. Greacen) pp. 243-61.
- Hütsch, B. W., Augustin, J. & Merbach, W. 2002. Plant rhizodeposition - an important source for carbon turnover in soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 165, 397-407.
- Juergens, L.A., Young, D.L., Schillinger, W.F. et Hinman, H.R. (2004). Economics of alternative no-till spring crop rotations in Washington's wheat-fallow region. *Agron. J.*, 96: 154-158.
- Kainz M., 1989. Runoff, erosion and sugar beet yields in conventional and mulched cultivation. Results of the 1988 experiment. *Soil technology series* 1, 103-114.
- Karmouni, A. 1988. Problèmes de l'érosion hydrique au Maroc: Importance des phénomènes et Causes. In: Séminaire National sur l'aménagement des bassin versants. 18-23 Janvier 1988. PNUD/FAO. pp. 1-13.
- Karrou. M, El.Mourid, H.Boulal, M.Boutfirass et M. El Gharous, 2001 « Ecophysiologie des céréales en zones semi-arides ». INRA-Maroc, pp. 53-80.
- Kassam, A.H. 1981. Climate, soil and land resources in West Asia and North Africa. *Plant Soil*. 58:1-28.
- Kay, B. D. 1990. Rates of change of soil structure under different cropping systems. In Steward, B. A. (ed.), *Advances in soil science*, Vol. 12, Springer-Verlag, New York (USA), pp. 1-52.
- Kay, B.D., and A.J. Vandenbygaart, 2002. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil & Tillage Research* 66:107-118.
- Kelkoul M., 2008 – Etude de l'effet des différentes techniques culturales utilisées en grandes cultures sur la rétention du sol en eau dans les conditions du semi-aride, région du Haut Cheliff, cas du blé, *Mag. Agr. ENSA. El Harrach. Alger. Annexes.*

- Kheyyar M.O. Amara M. et Harrad F, 2007 la mécanisation de la céréaliculture Algérienne: constat et perspectives Annales de l'Institut National Agronomique- El-Harrach; Vol.28 NO 1 et 2, 2007 Résumé.
- Kladivko, E. J. 2001. Tillage systems and soil ecology. *Soil & Tillage Research*, 61, 61-76.
- Kribaa, M., Hallaire, V., Curmi, P. et Lahmar, R. (2001). Effects of various cultivation methods on the structure and hydraulic properties of soil in semi-arid climate. *Soil Tillage Research*, 60 : 43-53.
- KWAAD F.J.P.M., ZIJP M.V.D. AND DIJK P.M.V, 1998. Soil conservation and maize cropping systems on sloping loess soils in the Netherlands. *Soil & Tillage Research* 46, 13-21.
- LAGACHERIE P., G. COULOUMA, P. ARIAGNO, P. VIRAT, H. BOIZARD AND G. RICHARD, 2006. Spatial variability of soil compaction over a vineyard region in relation with soils and cultivation operations. *Geoderma* 134:207-216.
- LAL R., KIMBLE J., FOLLETT R. AND COLE C., 1998. The potential US cropland to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. Sleeping Bear Press, Chelsea, MI.
- Lampurlanés, J. & Cantero-Martínez, C. 2006. Hydraulic conductivity, residue cover and soil surface roughness under different tillage systems in semiarid conditions. *Soil & Tillage Research*, 85, 13-26.
- Lavelle, P. 1997. Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem function. In Begon, M., Fitter, A. H. (eds.), *Advances in Ecological Research*, Vol. 27, Academic Press Limited, London (UK), pp. 93-132.
- Le Bissonnais Y., Arrouays D., 1997- Aggregate stability and assessment of soil crutability and erodibility. II. Application to humic loamy soils with various organic carbon contents. *Eur. J. Soil. Sci*, 48: 39-48.
- Le Bissonnais, Y. 1988. Analyse des mécanismes de désagrégation et de la mobilisation des particules de terre sous l'action des pluies, Thèse de Doctorat, Université d'Orléans, Orléans (France).
- Lee, K. E. & Foster, R. C. 1991. Soil fauna and soil structure. *Australian Journal of Soil Research*, 29, 745-775.
- Liu, X. J., Mosier, A. R., Halvorson, A. D. & Zhang, F. S. 2006. The impact of nitrogen placement and tillage on NO, N₂O, CH₄ and CO₂ fluxes from a clay loam soil. *Plant and Soil*, 280, 177-188.
- Logsdon, S. D., McCoy, E. L., Allmaras, R. R. & Linden, D. R. 1993. Macropore characterization by indirect methods. *Soil Science*, 155, 316-324.
- Luxmoore, R. J. 1981. Micro-, meso-, and macroporosity of soil. *Soil Science Society of America Journal*, 45, 671-672.
- Maatougui M E, 1996. "Caractérisation agro écologique du nord de l'Algérie" Céréaliculture, ITGC, Sidi Bel Abbés, 36 p.
- MACKIE-DAWSON L.A., C.E. MULLINS, E.A. FITZPATRICK AND M.N. COURT., 1989. Seasonal changes in the structure of clay soils in relation to soil management

- and crop type. I. Effects of crop rotation at Cruden Bay, NE Scotland. *Journal of Soil Science* 40:269-281.
- MAILLARD A., A. VEZ, AND J.P. RYSER. 1994. Results of a no-tillage trial for over 20 years at Changins. II. Soil chemical properties. *Revue Suisse d'Agriculture* 26:133-139.
- MASSE J., BOISGONTIER D., BODET J.M., GILLET J.P. ; 1994. Feasibility of minimum tillage practices for annual cropping systems in France. *Conservation tillage in temperate agroecosystems.*, CRC, 167-179.
- MASSE J., LABREUCHE J., CARIOLLE M., REAU R. ; 2004. Techniques sans labour : bilan des expérimentations françaises. *Communications du colloque du 31 mars 2004. Comité d'Orientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'Environnement (CORPEN)*, 24-34.
- McCarty, G. W., Lyssenko, N. N. & Starr, J. L. 1998. Short-term changes in soil carbon and nitrogen pools during tillage management transition. *Soil Science Society of America Journal*, 62, 1564-1571.
- McConkey, B. G., Curtin, D., Campbell, C. A., Brandt, S. A. & Selles, F. 2002. Crop and soil nitrogen status of tilled and no-tillage systems in semiarid regions of Saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Science*, 82, 489-498.
- McKenzie, B. M. & Dexter, A. R. 1988a. Axial pressures generated by the earthworm *Aporrectodea rosea*. *Biology and Fertility of Soils*, 5, 323-327.
- McKenzie, B. M. & Dexter, A. R. 1988b. Radial pressures generated by the earthworm *Aporrectodea rosea*. *Biology and Fertility of Soils*, 5, 328-332.
- Mekliche, A., 1976. Etude de la production de blé tendre (Siéte Cerros) avec complément d'irrigation. Th. Ing. INA El-harrach 102p.
- Merzouk, A. 1985. Relative erodability of nine selected Moroccan soils as related to their physical, chemical and mineralogical properties. PhD Thesis, University of Minnesota, Saint Paul, MN, USA. 124p.
- Monteny, B.A. 1970. Bilans hydrique et énergétique d'une culture de blé en région semi-aride . INRA. Tunis. Vol. 41.
- Mrabet, R. (2001). Le semis direct : Potentiel et limites pour une agriculture durable en Afrique du Nord. Centre de développement sous-régional pour l'Afrique du Nord (CDSR), Nations Unies, Commission Économique pour l'Afrique (CEA/TNG/CDSR/AGR), 32 p.
- Mrabet, R., Ibno Namr, K., Smali, N., Ahdi, M. et Saber, N. (2000). Soil quality and associated changes in fertilizer management for wheat in no-tillage production systems of semiarid Morocco. Dans : Actes du Premier Congrès de l'Association Marocaine des Sciences du Sol, ENA. Meknès (Maroc), 18-19 May 2000.
- Murphy, S. D., Clements, D. R., Belaoussoff, S., Kevan, P. G. & Swanton, C. J. 2006. Promotion of weed species diversity and reduction of weed seedbanks with conservation tillage and crop rotation. *Weed Science*, 54, 69-77.
- Musick, J.T., O.R Jones, B.A Stewart, and D.A Dusek. 1994. Water yield relationships for irrigated and dryland wheat in the US Southern Plains. *Agron. J.* 86: 980-986.

- Mutin G., 1977 – la Mitidja, décomposition et espèce géographique, Paris, CNRS, 607p
- Nicou R., 1977 – Le travail du sol dans les terres exondées du Sénégal. Motivations, contraintes. Doc. Mult ISRA CNRA, Bambey, Sénégal.52p.
- Nonguierma.A. Dautrebande.S. 1994. "application opérationnelle de la télédétection pour études hydrologiques en zone soudano-sahélienne" rev secheresse, n° 5 : pp 107-115.
- NYAKATA E.Z., REDDY K.C., SISTANI K.R. ; 2000. Tillage, cover cropping, and poultry litter effects on selected soil chemical properties. *Soil & Tillage Research*, 58, 69-79.
- Oades J.M., 1984- Soil organic matter and structural stability mechanisms and implications for management. *Plant & Soil*, vol. 76, pp 319-337.
- Oades, J. M. 1993. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma*, 56, 377-400.
- OORTS K., 2006. Effect of tillage systems on soil organic matter stocks and C and N fluxes in cereals cropping systems on a silt loam soil in Northern France, KUL Leuven- INA-PG Paris, 178 p.
- OORTS K., BOSSUYT H., LABREUCHE J., MERCKX R. AND NICOLARDOT B., 2007. Carbon and nitrogen stocks in relation to organic matter fractions, aggregation and pore size distribution in no-tillage and conventional tillage in northern France. *European Journal of Soil Science* 58, 248-259.
- Pachepsky, Y. A. & Rawls, W. J. 2003. Soil structure and pedotransfer functions. *European Journal of Soil Science*, 54, 443-451.
- Pagliai, M. & Denobili, M. 1993. Relationships between soil porosity, root development and soil enzyme-activity in cultivated soils. *Geoderma*, 56, 243-256.
- PAGLIAI, M., N. VIGNOZZI, AND S. PELLEGRINI, 2004. Soil structure and the effect of management practices. *Soil & Tillage Research* 79:131-143.
- Papendick, R.I., M.J. Lindstrom and W.L. Gochran 1973. soil mulch effects on seedbed temperature and water during fallow in eastern Washington. *Soil Sci. Soc. Am Proc* pp. 307-314.
- Pekrun, C., Kaul, H.-P. & Claupein, W. 2003. Soil tillage for sustainable nutrient management. In El Titi, A. (ed.), *Soil tillage in agroecosystems*, CRC Press, New-York (USA), pp. 83-113.
- PIDGEON J.D., 1981. A preliminary study of minimum tillage systems (including broadcasting) for spring barley in Scotland. *Soil & Tillage Research* 1:139-151.
- Pierce, F. J., Fortin, M. C. & Staton, M. J. 1994. Periodic plowing effects on soil properties in a no-till farming system. *Soil Science Society of America Journal*, 58, 1782-1787.
- PNTTA., 2001 - 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. 4 p.
- Puget, P., C. Chenu, And J. Balesdent., 1995. Total and young organic matter distributions in aggregates of silty cultivated soils. *European Journal of Soil Science* 46:449-459.

- Quinton J.N. and Catt J.A., 2004. The effects of minimal tillage and contour cultivation on surface runoff, soil loss and crop yield in the long-term Woburn Erosion Reference Experiment on sandy soil at Woburn, England. *Soil Use and Management* 20, 343-349.
- Rasmussen, K. J. 1999. Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: a Scandinavian review. *Soil & Tillage Research*, 53, 3-14.
- Rezaei, S. A., Gilkes, R. J., Andrews, S. S. & Arzani, H. 2005. Soil quality assessment in semiarid rangeland in Iran. *Soil Use and Management*, 21, 402-409.
- RHOTON F.E., SHIPITALO M.J., LINDBO D.L., 2002. Runoff and soil loss from midwestern and southeastern US silt loam soils as affected by tillage practice and soil organic matter content., *Soil and tillage research*, 66, 1-11.
- Richard G, J.F., Sillon, I. Cousin, A. Bruand. 2004 – Le travail du sol, structure et fonctionnement hydrique du sol en régime d'évaporation ; Etude et gestion des sols, vol 11, n°1 pp 59 -68.
- RICHARD G., 2001. Fonctionnement physique des sols cultivés: labour, non labour, structure et érosion Du labour au semis direct: enjeux agronomiques, Salon international du machinisme agricole.
- Richard G., J. Boiffin, and Y. Duval, 1995. Direct drilling of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) into a cover crop: effects on soil physical conditions and crop establishment. *Soil & Tillage Research* 34:169-185.
- Richard, G., Boizard, H., Roger-Estrade, J., Boiffin, J. & Guerif, J. 1999. Field study of soil compaction due to traffic in northern France: pore space and morphological analysis of the compacted zones. *Soil & Tillage Research*, 51, 151-160.
- Roberston, L.S. , A.Erickson, and C.M. Hansen 1977. Tillage systems for Michingan soils and crops. I. Deep primary supplemental and no-till. *Bull. E 1941*, East Lansing.
- ROBERT M., CAPILLON A., RAUNET M. ; 2004. Les techniques culturales sans labour : historiques et enjeux. Colloque techniques culturales sans labour : Impacts culturales sans labour. Communications du colloque du 31 mars 2004. Comité d'Orientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'Environnement (CORPEN), 2-11.
- Roger-Estrade J., Richard G., Caneill J., Boizard H., Coquet, Y., Defossez P. and Manichon, H., 2004. Morphological characterisation of soil structure in tilled fields: from a diagnosis method to the modelling of structural changes over time. *Soil Tillage Res.*, 79(1): 33-49.
- Roper, M. M. & Gupta, V. V. S. R. 1995. Management practices and soil biota. *Australian Journal of Soil Research*, 33, 321-339.
- Russell, R. S. 1977. Plant root systems: their function and interaction with the soil. McGraw-Hill Book Company (UK) Limited, Maidenhead, Berkshire (UK).
- Sasal, M. C., Andriulo, A. E. & Taboada, M. A. 2006. Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinian Pampas. *Soil & Tillage Research*, 87, 9-18.
- Saxton, K.E, D.K/Mc Cool, and Papendick, 1981. Slot mulch for runoff and erosion control. *J. Soil water conservation*. pp. 44-47.

- SCHNEIDER O., ROGER-ESTRADE J., AUBERTOT J.N., DORE T. ; 2006. Effect of seeders and tillage equipment on vertical distribution of oilseed rape stubble. *Soil and Tillage Research*, 85, 115-122.
- SEBILLOTTE M. ; 1974. Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome. *Cahiers de l'ORSTOM, série biologie*, 3, 3-25.
- Shuster, W. D. & Edwards, C. A. 2003. Interactions between tillage and earthworms in agroecosystems. In El Titi, A. (ed.), *Soil tillage in agroecosystems*, CRC Press, New-York (USA), pp. 229-260.
- Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S. & Denef, K. 2004. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil & Tillage Research*, 79, 7-31.
- Six, J., Feller, C., Denef, K., Ogle, S. M., de Moraes Sa, J. C. & Albrecht, A. 2002. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils - Effects of no-tillage. *Agronomie*, 22, 755-775.
- Smika, D.E. 1981: Present status of eco-fallow in Colorado. *Ecofallow conference*. Lamar Colorado, Feb. 10, 1981.
- Smika, D.E. and Unger, P.W., 1986: Effect of surface residues on soil water storage. *Advances in soil sciences*, vol 5, p 115.
- Smika, D.E. 1983: Soil water change as related to position of wheat straw mulch on the soil surface. *Soil Sci. Soc. Am.J.* : pp. 988-991.
- Smith, P. 2004. Carbon sequestration in croplands: the potential in Europe and the global context. *European Journal of Agronomy*, 20, 229-236.
- SOANE B.D. AND BALL B.C., 1998. Review of management and conduct of long-term tillage studies with special reference to a 25-yr experiment on barley in Scotland. *Soil & Tillage Research* 45, 17-37.
- SOLTNER D. ; 1998. *Les Techniques Culturelles Simplifiées, Pourquoi ?*. Guide d'agriculture intégrée. Sciences et techniques agricoles.
- Soltner D., 2000 – les bases de la production végétale, tome I. le sol et son amélioration, 22ème édition. Col. Science et techniques agricoles, 472p.
- Soltner.D. 1983. "Les grandes productions végétales". Collection sciences et techniques agricoles 13eme édition. p. 9-22.
- SSSA 2006. Soil Science Society of America. [en ligne]. Disponible sur www.soils.org (consulté le 2 août 2006).
- Statistique Agricole I.2000: Statistiques des approvisionnements du secteur Agricole. Ministère de l'Agriculture. Direction des statistiques agricoles. et des enquêtes économiques.
- Stengel, P., Douglas, J. T., Guérif, J., Goss, M. J., Monnier, G. & Cannell, R. Q. 1984. Factors influencing the variation of some properties of soils in relation to their suitability for direct drilling. *Soil & Tillage Research*, 4, 35-53.
- Tan, C. S., Drury, C. F., Reynolds, W. D., Gaynor, J. D., Zhang, T. Q. & Ng, H. Y. 2002. Effect of long-term conventional tillage and no-tillage systems on soil and water quality at the field scale. *Water Science and Technology*, 46, 183-190.

- Tebrügge, F. & Düring, R. A. 1999. Reducing tillage intensity - a review of results from a long-term study in Germany. *Soil & Tillage Research*, 53, 15-28.
- Thevenet G., Mary B. and Wylleman R., 2002. Carbon sequestration and soil cultivation in temperate climate: results of a 30 years' experimentation of arable crops. *Comptes rendus de l'Academie d'Agriculture de France* 88, 71-78.
- Unger, P.W. 1978. Straw-mulch rate effect on soil water storage and sorghum yield. *Soil Sc.Soc. Am.J.* pp. 486-491.
- Unger, P.W. and Stewart B.A. 1978. Soil management for efficient water use: An overview. In *Limitations to efficient water use in crop production*. ASA.C. p. 1983.
- Valentin, C. & Bresson, L. M. 1992. Morphology, genesis and classification of surface crusts in loamy and sandy soils. *Geoderma*, 55, 225-245.
- VandenBygaart, A. J., Protz, R., Tomlin, A. D. & Miller, J. J. 1999. Tillage system effects on near-surface soil morphology: observations from the landscape to micro-scale in silt loam soils of southwestern Ontario. *Soil & Tillage Research*, 51, 139-149.
- VESETH R., KAROW R. ; 1999. Direct Seeding or No-Till... What's the Difference?. Pacific Northwest Conservation tillage Handbook Series No. 23. Chapter 2 – Conservation Tillage Systems and Equipment, May 1999. http://pnwxteep.wwsu.edu/Tillage_Handbook/chapter2/0022399.htm, consulté le 09/04/01.
- Wardle, D. A. 1995. Impacts of disturbance on detritus food webs in agro-ecosystems of contrasting tillage and weed management practices. In Begon, M., Fitter, A. H. (eds.), *Advances in Ecological research*, Vol. 26, Academic Press, New-York (USA), pp. 105-185.
- WEST L.T., MILLER W.P., LANGDALE G.W., BRUCE R.R., LAFLEN J.M. AND THOMAS A.W., 1991. Cropping system effects on interrill soil loss in the Georgia Piedmont. *Soil Science Society of America Journal* 55, 460-466.
- WEST T.O. AND POST W.M., 2002. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. *Soil Science Society of America Journal* 66, 1930-1946.
- Wies, A. F, and D.W. Stanforth. 1973. Weed control in conservation tillage. In : A.B. (ed.), *conservation tillage, the proceedings of a national conference*. Soil cons. Am., Ankeny, Iowa, pp. 108-114.
- Wilhelm, W.W., Mielke, L.N. et Fenster, C.R. (1982). Root development of winter wheat as related to tillage practice in Western Nebraska. *Agron. J.*, 74 : 85-88.
- YAVUZCAN H.G., MATTHIES D. AND AUERNHAMMER H., 2005. Vulnerability of Bavarian silty loam soil to compaction under heavy wheel traffic: impacts of tillage method and soil water content. *Soil & Tillage Research* 84, 200-215.
- Young, I. M., Blanchart, E., Chenu, C., Dangerfield, M., Fragoso, C., Grimaldi, M., Ingram, J. & Monrozier, L. J. 1998. The interaction of soil biota and soil structure under global change. *Global Change Biology*, 4, 703-712.
- Zablotowicz R.M., M.A. Locke, L.A. Gaston And C.T. Bryson, 2000. Interactions of tillage and soil depth on fluometuron degradation in a Dundee silt loam soil. *Soil & Tillage Research* 57:61-68.

Zobeck T.M. and Onstad C.A., 1987. Tillage and rainfall effects on random roughness:
a review. Soil & Tillage Research 9, 1-20.

Annexes

Annexe 01 : Mesure de l'humidité

ETUDE DES RESULTATS D'ESSAIS DE DIFFERENTES TECHNIQUES DE SEMIS DU BLE DUR (CHEN'S)

Echantillon	Poids humide (g)	Poids sec (g)	Poids de l'eau (g)	H%	
1	356	312	44	0,141039	14,10
2	301	262	39	0,148922	14,89
3	298	268	30	0,111971	11,19
4	265	236	29	0,12295	12,29
5	275	240	35	0,1458789	14,58
			MOYENNE	0,1339403	13,41
1	215	190	25	0,13985	13,16
2	275	240	35	0,15678	14,58
3	265	232	33	0,148234	14,22
4	245	222	23	0,103098	10,36
5	235	210	25	0,125678	11,90
			MOYENNE	0,133451	12,85
1	259	231	28	0,12121212	12,1212121
2	187	171	16	0,09356725	9,35672515
3	183	168	15	0,08928571	8,92857143
4	258	236	22	0,09322034	9,3220339
5	276	251	25	0,09960159	9,96015936
			MOYENNE	0,0993774	9,93774039
1	165	150	15	0,145208	10
2	381	342	39	0,11403509	11,4035088
3	254	226	28	0,12389381	12,3893805
4	311	281	30	0,10676157	10,6761566
5	234	212	22	0,10377358	10,3773585
			MOYENNE	0,10969281	10,9692809
1	292	258	34	0,131808	13,18
2	393	351	42	0,119711	11,97
3	280	250	30	0,120014	12,00
4	302	270	32	0,11854	11,85
5	311	277	34	0,122753	12,27
			MOYENNE	0,1238137	12,25
1	385	329	56	0,1702128	17,0212766
2	477	403	74	0,1836228	18,3622829
3	406	356	50	0,1404494	14,0449438
4	443	381	62	0,1627297	16,2729659
5	496	430	66	0,1534884	15,3488372
			MOYENNE	0,1621006	16,2100613

Annexe 02 : Mesure de la porosité

échantillon	Poids sec (g)	Volume (cm ³)	Da (g/cm ³)	Dr (g/cm ³)	La porosité (%)
1	397	250	1,588	2,43	34,65020576
2	433	250	1,732	2,43	28,72427984
3	403	250	1,612	2,43	33,66255144
4	260	250	1,04	2,43	57,20164609
5	260	250	1,04	2,43	57,20164609
		Moyenne :	1,4024	Moyenne :	42,28806584
			(g/cm ³)	(g/cm ³)	
1	319	250	1,276	2,43	47,4897119
2	217	250	0,868	2,43	64,2798354
3	379	250	1,516	2,43	37,6131687
4	249	250	0,996	2,43	59,0123457
5	263	250	1,052	2,43	56,7078189
		Moyenne :	1,1416	Moyenne :	53,0205761
			(g/cm ³)	(g/cm ³)	
1	283	250	1,132	2,43	53,4156379
2	325	250	1,3	2,43	46,5020576
3	397	250	1,588	2,43	34,6502058
4	233	250	0,932	2,43	61,6460905
5	219	250	0,876	2,43	63,9506173
		Moyenne :	1,1656	Moyenne :	52,0329218
			(g/cm ³)	(g/cm ³)	
1	283	430	0,65813953	2,43	72,9160685
2	533	430	1,23953488	2,43	48,990334
3	368	430	0,85581395	2,43	64,7813188
4	492	430	1,14418605	2,43	52,9141545
5	491	430	1,14186047	2,43	53,0098574
		Moyenne :	1,00790698	Moyenne :	58,5223466
			(g/cm ³)	(g/cm ³)	
1	399	250	1,596	2,43	34,3209877
2	360	250	1,44	2,43	40,7407407
3	360	250	1,44	2,43	40,7407407
4	328	250	1,312	2,43	46,0082305
5	352	250	1,408	2,43	42,0576132
		Moyenne :	1,4392	Moyenne :	40,7736626

Annexe 0 3 : Mesure de la résistance pénétrométrique

ETUDE DES RESULTATS D'ESSAIS DE DIFFERENTES TECHNIQUES DE SEMIS DU BLE DUR (CHEN'S)

Profondeur (cm)	Rp1	Rp2	Rp3	Rp4	Rp5	moyenne
2	5	2,50	1,875	1,25	3,125	2,75
4	10	8,75	9,625	8,75	9,75	9,375
6	11,125	10,25	9,625	8,75	9,75	9,9
8	11,125	10,25	10,125	8,75	9,75	10
10	11,25	10,25	10,25	9,38	9,75	10,176
12	11,25	10,75	10,25	9,38	9,75	10,276
14	11,25	10,75	10,25	10	10,125	10,475
16	11,25	11,00	11,25	10,25	10,25	10,8
18	11,25	11,00	11,25	10,25	10,25	10,8
20	11,25	11,00	11,25	11,00	10,25	10,95
22	11,25	11,00	11,25	11,00	11	11,1
24	11,25	11,00	11,25	11,00	11	11,1
2	1,25	1,625	0,625	0,375	0,375	0,85
4	9,125	10	3,75	3,125	1,375	5,475
6	10,5	10,875	10,375	7,5	8,75	9,6
8	11,25	11,125	12,5	10,375	9,375	10,925
10	11,375	11,25	11,25	10,5	9	10,675
12	11,25	11,25	11,25	10,75	9,125	10,725
14	11,25	11,25	11,25	10,25	10	10,8
16	11,25	11,25	11,25	10,25	10	10,8
18	11,25	11,25	11,25	10,25	10	10,8
20	11,25	11,25	11,25	10,25	9,625	10,725
22	11,25	11,25	11,25	10,25	9,5	10,7
24	11,25	11,25	11,25	10,25	10	10,8
2	0,375	0,375	0,375	1,875	0,875	0,775
4	0,625	0,875	1,875	7,25	8,125	3,75
6	4,625	4	7,75	8,125	8,625	6,625
8	6,25	9,125	9,625	8,625	8,125	8,35
10	5,875	10,75	10	9	8,125	8,75
12	6,875	10,75	10	9	8,125	8,95
14	7,5	10,75	10	9,125	8,125	9,1
16	8,125	10,75	10	8,75	7,75	9,075
18	8,125	10,75	10	8,25	7,5	8,925
20	7,625	10,75	10	8,125	7,25	8,75
22	7,125	10,75	10	8	6,875	8,55
24	7	10,75	10	8	6,875	8,525
2	3,125	1,5	3,75	3,5	3,75	3,125
4	8,5	5	6,625	7,375	7,5	7
6	9,375	8,5	7,25	8,5	8,5	8,425
8	9,125	8,875	8,625	9	8,625	8,85
10	9,125	9,125	9,375	9,125	9,5	9,25
12	9	9,25	9,75	9,25	9,625	9,375
14	8,875	9,375	9,875	9,375	9,625	9,425
16	8,75	9,75	10,25	10,125	10,25	9,825
18	8,75	9,875	11	10,5	10,75	10,175
20	8,75	9,875	11,5	10,625	11,125	10,375
22	8,75	9,875	11,625	11,125	11,5	10,575
24	8,75	9,875	11,625	11,375	11,5	10,625
2	0,5	0,375	0,375	1	0,625	0,575
4	1,375	1,125	2,5	3,875	3,75	2,525
6	3,875	4	6	5,75	8,375	5,6
8	6,25	5,125	6,25	5,75	10,25	6,725
10	7,375	7	6,875	7,375	10,625	7,85
12	7,5	7,875	5,875	7,875	10,875	8
14	7,75	8,375	8,25	8,5	10,625	8,7
16	8	8,75	8,625	8,375	10,625	8,875

Variable	Observations	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	coefficient de variation
H (S.D)	15	10,620	15,150	12,953	1,344	0,10
H (T.M)	15	9,150	15,710	12,859	1,938	0,15
H (T.C)	15	10,090	16,540	13,421	2,237	0,17
Rp (S.D)	15	5,820	12,808	9,767	2,683	0,27
Rp(T.M)	15	4,910	12,035	8,610	2,631	0,31
Rp (T.C)	15	4,222	11,111	7,848	2,328	0,30
n (S.D)	15	49,800	66,600	59,046	4,445	0,08
n (T.M)	15	40,090	61,150	50,273	7,289	0,14
n (T.C)	15	38,370	61,430	50,404	5,586	0,11

Annexe 05 : représentation des corrélations entre les différents paramètres

Variabes	H% (S.D)	H% (T.M)	H% (T.C)	Rp% (S.D)	Rp% (T.M)	Rp% (T.C)	n% (S.D)	n% (T.M)	n% (T.C)
H% (S.D)	1	0,050	-0,266	0,425	0,895	0,933	-0,249	0,493	-0,017
H% (T.M)	0,845	1	0,198	-0,646	0,435	0,939	-0,159	-0,083	0,550
H% (T.C)	0,764	0,930	1	0,506	-0,535	0,484	-0,319	-0,322	-0,175
Rp%(S.D)	-0,344	-0,304	-0,249	1	0,689	-0,705	-0,263	-0,373	-0,419
Rp%(T.M)	-0,228	-0,207	-0,159	0,933	1	0,434	0,435	-0,207	-0,228
Rp%(T.C)	-0,419	-0,373	-0,319	0,939	0,895	1	0,001	-0,304	-0,344
n% (S.D)	-0,175	-0,322	-0,263	0,484	0,435	0,425	1	0,930	0,764
n% (T.M)	0,550	0,493	0,435	-0,705	-0,535	-0,646	-0,266	1	0,845
n% (T.C)	-0,017	-0,083	0,001	0,434	0,689	0,506	0,198	0,050	1

Annexe 06 : Nombre d'épillets par épi

ETUDE DES RESULTATS D'ESSAIS DE DIFFERENTES TECHNIQUES DE SEMIS DU BLE DUR (CHEN'S)

bloc I			bloc II			bloc III			bloc IV		
TC	SD	TM	TC	TM	SD	TC	SD	TM	SD	TC	
18	18	17	16	14	16	14	16	14	15	14	18
14	16	16	16	12	17	13	15	13	17	16	14
16	14	15	16	16	15	18	16	18	16	15	16
22	14	14	13	14	16	15	16	14	16	17	18
18	17	15	13	15	15	15	14	13	14	18	17
17	19	16	15	16	16	17	13	17	14	19	17
18	16	18	15	14	15	17	15	15	13	16	19
16	17	17	16	17	15	17	14	14	15	16	16
19	16	15	14	14	14	16	15	17	16	18	18
18	15	17	15	12	14	16	14	17	15	15	20
18	16	17	16	15	16	16	15	15	17	15	18
20	16	17	14	16	17	15	15	13	16	14	19
17	17	15	15	15	15	16	15	17	14	17	17
16	18	18	16	14	15	14	13	14	17	17	16
17	17	16	15	14	16	17	15	17	17	16	16
15	15	17	16	17	16	17	14	15	17	16	17
16	16	17	13	15	14	17	15	17	16	16	18
17	14	17	15	15	13	16	16	17	15	18	19
18	17	18	16	15	16	16	16	15	15	17	16
19	17	18	14	15	16	15	15	17	16	15	15
17	18	16	16	16	16	17	14	17	16	14	18
18	15	14	14	17	17	17	15	17	16	16	15
17	16	16	15	15	17	17	15	16	15	17	15
17	16	14	16	15	19	16	16	15	14	15	16
17	16	13	13	14	15	18	13	16	15	17	17
17,4	16,24	16,12	14,92	14,88	15,64	16,08	14,8	15,6	15,48	16,16	17

Annexe 07 : nombre de grains par épi

bloc I			bloc II			bloc III			bloc IV		
TC	SD	TM	TC	TM	SD	TM	TC	SD	TM	SD	TC
48	56	71	43	53	64	65	55	42	56	38	56
54	61	40	54	46	42	45	51	30	58	42	38
62	45	63	42	43	57	67	52	42	48	40	37
51	50	36	62	40	51	49	53	37	50	56	39
53	54	45	43	61	45	49	49	51	52	58	51
63	42	34	43	51	41	50	33	51	54	61	56
79	52	51	45	41	46	78	46	37	46	48	62
55	56	51	45	45	36	67	43	40	48	45	52
59	54	48	38	40	38	57	46	31	52	58	65
58	50	59	45	45	43	70	47	40	49	50	55
57	66	53	65	47	46	52	48	36	49	52	67
46	46	46	51	44	50	52	49	30	48	42	59
59	62	42	35	53	57	42	57	42	48	56	59
52	49	60	50	49	35	46	37	37	52	58	54
64	64	43	71	46	56	43	43	39	54	45	56
56	58	46	58	50	40	56	50	29	56	42	48
49	47	56	42	56	35	46	55	31	42	42	50
74	45	46	45	37	48	43	41	43	45	50	54
58	49	45	58	60	47	42	52	46	46	48	52
47	41	63	45	42	42	49	38	60	57	38	49
65	47	66	46	58	40	50	52	42	46	39	49
47	41	47	54	57	47	46	51	38	54	46	45
54	46	41	48	48	43	49	38	30	49	48	52
42	45	55	56	50	53	60	66	29	42	45	56
45	54	32	53	47	48	18	50	39	52	62	46
55,88	51,2	49,56	49,48	48,36	46	51,64	48,08	38,88	50,12	48,36	52,28

Annexe 08 : la hauteur des tiges

ETUDE DES RESULTATS D'ESSAIS DE DIFFERENTES TECHNIQUES DE SEMIS DU BLE DUR (CHEN'S)

Bloc I			Bloc II			Bloc III			Bloc IV		
TC	SD	TM	TC	TM	SD	TM	TC	SD	TM	SD	TC
62	60	73	73	78	80	78	73	68	66	60	68
68	67	60	70	75	79	70	68	75	68	67	64
63	64	70	75	69	78	71	65	70	74	64	69
70	73	62	61	70	75	68	70	71	54	73	71
65	68	62	70	65	68	65	71	69	63	68	60
56	70	65	66	64	69	70	60	68	56	70	65
63	64	60	71	67	70	71	68	75	65	64	62
54	73	71	72	68	71	53	65	78	70	73	68
74	62	69	68	66	70	65	73	79	63	62	70
68	71	64	68	70	75	66	74	80	66	71	60
66	64	68	71	69	68	59	72	81	64	63	73
49	68	61	72	78	77	60	73	77	71	62	66
61	69	63	73	69	78	61	69	71	66	66	70
62	71	62	69	69	75	62	73	72	65	71	68
59	72	66	70	66	71	55	70	69	69	73	71
62,67	67,73	65,07	69,93	69,53	73,60	64,93	69,60	73,53	65,33	67,13	67,00

Annexe 09 : matière organique

TC	BI	3,06762
	BII	2,85606
	BIII	2,85606
	BIV	3,1734
TM	BI	2,80317
	BII	2,32716
	BIII	2,80317
	BIV	3,22629
SD	BI	2,69739
	BII	2,38005
	BIII	3,1734
	BIV	3,06762

Annexe 10 : poids de mille grains

		TC	TM	SD
<i>BI</i>	1	43,9	46,85	43,24
	2	43,96	46,16	42,66
	3	44,39	43,62	43,95
	4	44,4	46,33	43,51
	5	45,42	46,56	44,28
<i>BII</i>	1	46,18	46,3	44,75
	2	48,37	45,2	45,89
	3	47,91	44,29	44,74
	4	47,52	45,28	43,98
	5	47,7	45,9	43,99
<i>BIII</i>	1	46,27	45,59	45,34
	2	45,08	46,68	45,43
	3	44,85	45,13	45,29
	4	45,57	44,78	45,15
	5	45,62	45,54	44,53
<i>BIV</i>	1	44,78	45,16	43,2
	2	44,84	45,35	43,55
	3	44,17	45,34	44,41
	4	44,02	44,62	43,33
	5	44,78	47,34	44,64

Annexe 11 : recouvrement par les mauvaises herbes

ETUDE DES RESULTATS D'ESSAIS DE DIFFERENTES TECHNIQUES DE SEMIS DU BLE DUR (CHEN'S)

	bloc I			bloc II			bloc III			bloc IV		
	TC	SD	TM	TC	TM	SD	TM	TC	SD	TM	SD	TC
1ère	4	5	6	5	9	4	8	6	3	7	4	5
notat°	6	4	7	6	8	5	9	5	4	8	5	4
(28/04)	5	4	8	6	8	5	8	6	4	8	6	4
	3	5	7	5	7	5	9	6	5	9	4	5
2ème	5	4	9	4	9	3	9	6	5	8	3	4
notat°	6	5	8	6	8	4	8	6	4	9	2	5
(04/05)	7	3	7	6	8	5	9	5	6	8	4	4
	6	4	8	5	9	3	9	4	6	9	3	6
3ème	6	7	9	8	9	7	8	7	6	9	7	6
notat°	9	6	9	7	8	4	7	7	6	8	6	6
(12/06)	8	6	7	6	8	4	8	6	7	8	5	7
	8	5	8	6	8	3	9	8	6	8	3	8

Annexe 12 : peuplement

TC	BI	1	134
		2	165
		3	192
		4	140
		5	185
	BII	1	141
		2	151
		3	130
		4	128
		5	132
	BIII	1	170
		2	162
		3	125
		4	130
		5	155
	BIV	1	188
		2	142
		3	159
		4	138
		5	176
TM	BI	1	163
		2	186
		3	198
		4	172
		5	170
	BII	1	123
		2	199
		3	166
		4	187
		5	202
	BIII	1	103
		2	124
		3	198
		4	106
		5	158
	BIV	1	117
		2	116
		3	136
		4	157
		5	137
SD	BI	1	160
		2	160
		3	112
		4	140
		5	98
	BII	1	183
		2	100
		3	190
		4	122
		5	198
	BIII	1	183
		2	160
		3	190
		4	122
		5	139
	BIV	1	124
		2	104

