

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية العليا للعلوم الفلاحية

-الحراش-

Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie

El Harrach – Alger

Thèse

En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en sciences agronomiques

Thème

**Problématique de l'introduction des techniques
culturales simplifiées pour la mise en place des
grandes cultures en Algérie**

Présenté par : FEDDAL MOHAMED AMINE

Devant le jury :

Président : AIDAOUI Abdellah (Professeur - ENSA-El-Harrach)

Directeur de thèse : AMARA Mahfoud (professeur- ENSA-El Harrach)

Examineurs : HARTANI Tarik (Professeur – Centre universitaire Tipaza)

BENMOUSSA Mebrouk (professeur – Université Saad Dahleb Blida)

Année universitaire : 2014 /2015

Résumé

Ce travail, qui rentre dans le cadre d'un programme de recherche sur la problématique de l'introduction des techniques culturales simplifiées en Algérie porte sur une analyse de l'effet de trois techniques culturales, pour la mise en place d'une céréale, sur les propriétés physiques du sol et les conséquences sur le développement des racines ainsi que sur le rendement d'un blé dur. Et l'impact de ces techniques sur l'infestation en mauvaises herbes.

Les essais réalisés à la station expérimentale de l'école nationale supérieure agronomique ainsi qu'à la station expérimentale de l'ITGC montrent clairement que la technique utilisée a un effet sur l'évolution de l'humidité, de la porosité et de la résistance pénétrométrique du sol. La teneur en eau dans le sol est mieux conservée avec le semis direct, sa valeur passe de 12,97 % avant le semis à 16,51 % au stade épiaison pour les parcelles labourées (TC) ; elle passe de 13,83 % à 16,73 % pour les parcelles de la TM et de 14,28 % à 18,27 sur les parcelles du semis direct. La porosité est légèrement plus importante avec la technique conventionnelle. Pour ce qui est de la résistance pénétrométrique, le sol est plus résistant sur la parcelle en semis direct où elle atteint 15,84 daN/cm². Rp est aussi fortement conditionnée par la teneur en eau. Les valeurs moyennes montrent que la résistance pénétrométrique est inversement proportionnelle à la teneur en eau. Ces évolutions sont illustrées par la relation : **$R_p \text{ (TCNT)} = 11,95 + 0,006*n - 0,31*H$** . Les résultats obtenus montrent que le système racinaire est plus développé sur parcelles travaillées avec la méthode conventionnelle que sur celles travaillées en semis direct et en travail minimum. Les rendements estimés sont respectivement de 36,19 q/ha pour les parcelles travaillées en Semis Direct, il est de 50,03 q/ha pour celles travaillées en Technique Conventionnelle et il n'est que de 35,7 q/ha sur les parcelles travaillées avec le chisel pour le Travail Minimum. L'analyse statistique a montré qu'il y a un effet très hautement significatif du traitement à l'herbicide sur la densité des mauvaises herbes en semis direct **$P < 0,0001$** . D'après l'analyse de la corrélation on constate qu'il y a une forte corrélation entre :

$H\% \text{ TC} = 14,18 - 0,027D.m.h \text{ (TC)}$, **$\text{Hauteur tige (SD)} = 33,43 + 5,75 H\% \text{ SD}$** ,
 $RDT \text{ (SDT)} = 32,27 - 0,16*D.m.h \text{ (SDT)}$, **$\text{Biomasse (SDT)} = 287,83 - 1,50 D.m.h \text{ (SDT)}$** .

L'analyse de la régression multiple entre la variable dépendante RDT et les variables indépendantes D.m.h, H% et le diamètre des tiges a donné l'équation du modèle suivante :

$RDT \text{ (SD)} = 14,96 + 0,10*D.m.h(SD) - 1,26*H\%(SD) - 11,70*Diamètre \text{ (SD)}$.

Le coefficient de détermination **$R^2 = 0,99$** , les variables densité des mauvaises herbes, humidité et diamètre des tiges permettent d'expliquer 99% de la variabilité du rendement. Ces trois variables ont un effet certain sur le rendement dans les parcelles menées en semis direct, pour les parcelles travaillées on n'a pas pu obtenir un modèle explicatif comme celui en semis direct. Cela nous porte à dire que la maîtrise des mauvaises herbes conduit certainement à une obtention d'un bon rendement.

Mots clés : techniques culturales, propriétés du sol, racine, mauvaises herbes, rendement.

Abstract:

This work, which falls within the framework of a research program on the issue of the introduction of simplified cultivation techniques in Algeria focuses on an analysis of the effect of three cultivation techniques for the establishment of a cereal, on soil physical properties and the effects on root development and on the durum wheat yield. And the impact of these techniques on weed infestation.

Tests carried out at the experimental station of the Agricultural National School (EL HARRACH) and the Experimental Station of ITGC shows clearly that the technique used has an effect on the evolution of moisture, on the porosity and on the cone index of the soil.

The water content in the soil is preserved better with the direct drilling, its value reaches from 12,97% before sowing to 16,51% at the ear development stage on the plowed parcel (TC); it passes from 13,83% to 16,73% on the minimum tilling (TM) and from 14,28% to 18,27 on the direct drilling (SD). Porosity is slightly more important with the conventional technique. As regards penetrometric resistance, the soil is more resistant on the parcel in direct drilling where it reaches 15,84 daN/cm².

Rp is also strongly influenced by the water content. The mean values show that the penetrometer resistance is inversely proportional to the water content. These changes are illustrated by the relation: **Rp (TCNT) = 11,95 + 0,006*n - 0,31*H.**

The results obtained also show that the roots system is developed more on parcel worked with the conventional method than on those worked in direct drilling and minimum work.

The estimated yield are respectively 36,19 q/ha for the direct drilling and 50,03 q/ha for conventional work and it is only 35,7 q/ha on the parcel worked with the chisel.

Statistical analysis showed that there was a highly significant effect of treatment with the herbicide on weed density in direct seeding P-value <0.0001. From the analysis of the correlation is observed that there is a strong correlation between:

H% TC = 14,18 - 0,027D.m.h (TC), Hauteur tige (SD) = 33,43 + 5,75 H% SD, RDT (SDT) = 32,27 - 0,16*D.m.h (SDT), Biomasse (SDT) = 287,83 - 1,50 D.m.h (SDT).

The analysis of multiple regression between the dependent variable and the independent variables RTD Dmh, H% and the stem diameter gave the following equation of the model:

RDT (SD) = 14,96 + 0,10*D.m.h(SD) - 1,26*H%(SD) - 11,70*Diamètre (SD).

The coefficient of determination R² = 0.99, the variable density of weeds, humidity and stem diameter can explain 99% of the variability in yield. These three variables have some effect on the yield in plots conducted till, for plots worked we could not obtain an explanatory model like direct seeding. This leads us to say that the mastery of weeds certainly leads to obtaining a good yield.

Key word: cultivation techniques, soil properties, root , weeds, yield.

ملخص

هذا العمل الذي يندرج في إطار برنامج بحثي في مسألة إدخال تقنيات البذر المباشر في الجزائر يركز على تحليل تأثير ثلاث تقنيات لزراعة الحبوب، على الخواص الفيزيائية للتربة والآثار المترتبة على الجذور ومردود القمح الصلب وتأثير هذه التقنيات على الحشائش الضارة. الاختبارات التي أجريت في المحطة التجريبية للمدرسة الوطنية العليا الزراعية بالحراش ومحطة تجريبية للمعهد التقني للمحاصيل الكبرى تبين أن التقنيات لها تأثير على الرطوبة المسامية، ومقاومة التغلغل في التربة. مقاومة التغلغل منخفضة في القطع المحروثة و متوسط القيم تبين أن مقاومة التغلغل تتناسب عكسيا مع الرطوبة. هذه التطورات تتضح في العلاقة :

$$R_p (TCNT) = 11,95 + 0,006*n - 0,31*H$$

تطور الجذور كان ملحوظا في القطع المحروثة و المعالجة بالمبيدات و من تم كان المحصول وافرا في هذه الأراضي،

وأظهر التحليل الإحصائي أن هناك تأثير كبير للغاية للتقنيات على كثافة الاعشاب في البذر المباشر P ذات القيمة >0.0001 . من تحليل الارتباط لوحظ أن هناك علاقة قوية بين كل من:

$$H\% TC = 14,18 - 0,027D.m.h (TC), \quad \text{Hauteur tige (SD)} = 33,43 + 5,75 H\% SD, \quad RDT (SDT) = 32,27 - 0,16*D.m.h (SDT), \quad \text{Biomasse (SDT)} = 287,83 - 1,50 D.m.h (SDT).$$

أعطى تحليل الانحدار المتعدد بين المتغير التابع و المتغيرات المستقلة المعادلة التالية :

$$RDT (SD) = 14,96 + 0,10*D.m.h(SD) - 1,26*H\%(SD) - 11,70*Diamètre (SD).$$

معامل التحديد $R^2 = 0.99$ ، وكثافة مختلفة من الأعشاب والرطوبة و قطر الساق يمكن أن تفسر 99 % من التباين في المردود. هذه المتغيرات الثلاث تؤثر على المردود في حالة البذر المباشر.

الكلمات الرئيسية : تقنيات الزراعة ، التربة ، والجذور ، الأعشاب الضارة ، المردود .

Liste des abréviations

L'abréviation	La signification
HAS	Stade avant semis,
H3F	Stade 3 feuilles,
HE	Stade épiaison
R	Coefficient de corrélation
P	Probabilité
R ²	Coefficient de détermination
PMG	Poids de mille grains
DDL	Degré de liberté
ANRH	Agence nationale de ressources en hydraulique
PJ max	Pluviométrie journalière maximale
Nbre jour pluv.	Nombre de jours pluvieux
TCNT	Travail conventionnel sans traitement à l'herbicide
SDNT	Semis direct sans traitement à l'herbicide
TCT	Travail conventionnel avec traitement à l'herbicide
SDT	Semis direct avec traitement à l'herbicide
n (%)	La porosité
Rp	La résistance pénétrométrique
Nbre gr/epi	Nombre de grains par épi

RDT	Le rendement
D	Densité de mauvaises herbes/m ²
TC	Travail conventionnel
TM	Travail minimum
SD	Semis direct

Listes des figures

Figure 1.1: Évolution de la production céréalière entre 1961 et 2011.....	9
Figure 2.1 : présentation des techniques culturales de profondeur.....	21
Figure 2.2 : présentation des techniques culturales superficielles.....	22
Figure 2.3 : effet des techniques culturales sur la résistance pénétrométrique	30
Figure 2.4 : valeurs moyenne de la Rp selon ma profondeur et en fonction du type de travail du sol sur un sol limoneux sableux.....	31
Figure 2.5 : Stocks semenciers présents dans les deux horizons de l’essai (0-15 cm) et (15-30cm)	33
Figure 3.1 : Production comparative de matière sèche de racines selon la texture et le pouvoir alimentaire du sol (cas de la fléole).....	42
Figure 3.2 : Influence de la texture du sol sur la morphologie de racines de blé à la levée...	44
Figure 3.3 : relation entre l’élargissement des racines de plants de maïs, coton, blé, d’arachide âgés de 70 jours et la pression mesurée à l’aide d’un pénétromètre.....	45
Figure 3.4 : Influence de l’humidité du sol sur l’histomorphologie des racines s de maïs coupe transversale dans le parenchyme cortical de racines de maïs.....	47
Figure 3.5 : développement racinaire dans trois sols de structures différentes.....	48
Figure 4.1: schéma général et dimensions du pot.....	58
Figure 4.2 : photo du pot.....	59
Figure 4.3 : schéma représentant les dimensions de l’outil de compactage.....	59
Figure 4.4 : les étapes suivies pour le remplissage du premier et cinquième pot.....	62
Figure 4.5 : les étapes suivies pour le remplissage deuxième pot.....	63
Figure 4.6: représentation des résultats de la densité racinaire pour les dix traitements.....	65
Figure 4.7: représentation des résultats des profondeurs d’enracinements pour les dix traitements.....	66
Figure 4.8 : photos prise lors de la phase végétative de développement du sorgho.....	68
Figure 5.1 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls Et Gaussen.....	71
Figure 5.2: conditions climatiques du site 02	73
Figure 6.1: schéma général du dispositif expérimental du site 01	77
Figure 6.2 : dispositif expérimental du site 02.....	78
Figure 6.3: dispositif expérimental du site 03.....	79
Figure 6.4 : schéma de conduite de l’expérimentation dans TCT.....	80
Figure 6.5 : schéma de conduite de l’expérimentation dans SDT.....	81
Figure 6.6 : les parcelles du site 03 après le semis.....	82
Figure 6.7 : tracteur CIRTA 6807.....	84
Figure 6.8 : le semoir en ligne AGRIC PSM 30.....	85
Figure 6.9 : le semoir direct SEMEATO SHM 13.....	85
Figure 6.10 : Pulvérisateur à jet projeté.....	86
Figure 6.11 : pulvérisateur à dos.....	86
Figure 6.12 : la tarière.....	88
Figure 6.13 : le pénétromètre.....	89

Figure 6.14 : courbe de tarage du pénétromètre.....	91
Figure 6.15 : dispositif d'analyse de l'aptitude au tassement.....	91
Figure 6.16 : les trois zones de prélèvements des échantillons dans une parcelle élémentaire de six lignes.....	93
Figure 7.1 : variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur du sol.....	98
Figure 7.2 : Evolution de la porosité totale.....	100
Figure 7.3 : évolution de Rp en relation avec la profondeur.....	102
Figure 7.4 : évolution de la résistance pénétrométrique en relation avec la profondeur et l'outil utilisé.....	103
Figure 7.5 : évolution comparée de Rp, de n et w avant et après passage des outils aratoires.....	104
Figure 7.6 : relation résistance pénétrométrique Rp avec la teneur en eau w.....	105
Figure 7.7 : état de la surface avant labour.....	106
Figure 7.8 : état de la surface après labour.....	106
Figure 7.9 : état de la surface après passage du cover - crop.....	107
Figure 7.10 : état de la surface après passage du cultivateur a dents.....	107
Figure 7.11 : courbe de compactage.....	108
Figure 8.1 : Variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les deux techniques culturales non traitées.....	112
Figure 8.2 : la variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les deux techniques culturales traitées.....	113
Figure 8.3 : variation de l'humidité du sol en fonction de la profondeur et des stades du blé pour TC, TM, et SD.....	114
Figure 8.4 : Teneur en eau du sol (%) à différentes profondeurs.....	115
Figure 8.5 : Evolution de la teneur moyenne en eau (%) pour chaque technique et chaque stade.....	115
Figure 8.6 : Variation de la porosité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les deux techniques culturales traitées.....	117
Figure 8.7 : Variation de la porosité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les deux techniques culturales non traitées.....	118
Figure 8.8 : Variation de la porosité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour TC, TM, et SD.....	119
Figure 8.9 : Evolution de la porosité en relation avec la profondeur et pour chaque technique de mise en place de la culture.....	120
Figure 8.10 : Porosité moyenne en fonction du stade végétatif et de la technique.....	120
Figure 8.11 : Variation de la résistance mécanique du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les deux techniques culturales traitées.....	121
Figure 8.12 : Variation de la résistance mécanique du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les deux techniques culturales non traitées.....	123
Figure 8.13 : courbe représentant La corrélation entre Rp TCT et Rp SDT.....	130
Figure 8.14 : courbe représentant La corrélation entre Rp TCNT et Rp SDNT.....	131
Figure 9.1 : variation de la densité racinaire pour le travail conventionnel et semis direct traités.....	134

Figure 9.2 : variation de la densité racinaire pour le travail conventionnel et semis direct non traités.....	135
Figure 9.3: Densité des racines (g/dm ³) pour chaque technique au niveau des quatre blocs.....	137
Figure 9.4 : le nombre de plant par m ² pour les trois techniques culturales.....	139
Figure 9.5 : variation de PMG pour les deux techniques avec traitement d'herbicide.....	139
Figure 9.6 : variation de PMG pour les deux techniques sans traitement d'herbicide.....	140
Figure 9.7 : variation du nombre de grains par épi pour les deux techniques culturales avec traitement à l'herbicide.....	141
Figure 9.8 : variation du nombre de grains par épi pour les deux techniques culturales sans traitement à l'herbicide.....	141
Figure 9.9 : courbe représentant La corrélation entre nbre gr/épi TCT et nbre gr/épi SDT.....	143
Figure 9.10 : la variation du nombre d'épi/m ² pour le TCT et le SDT.....	144
Figure 9.11 : la variation du nombre d'épi/m ² pour le TCNT et le SDNT.....	145
Figure 9.12 : variation du rendement théorique pour différentes techniques culturale avec traitement à l'herbicide.....	146
Figure 9.13 : variation du rendement théorique pour différentes techniques culturale sans traitement à l'herbicide.....	147
Figure 9.14 : photos prises des parcelles travaillées et celles non travaillées.....	147
Figure 9.15 : courbe représentant la corrélation entre RDT (TCT) et RDT (SDT).....	150
Figure 10.1: la densité des mauvaises herbes dans les parcelles TCT et SDT.....	152
Figure 10.2: évolution des mauvaises herbes pour les parcelles TCT et SDT.....	153
Figure 10.3: Analyse de la densité des mauvaises herbes durant le cycle du sorgho dans les parcelles non traitées.....	154
Figure 10.4: évolution de la flore adventice dans les parcelles non traitées.....	155
Figure 10.5: diagramme de dominance des densités entre TCNT et SDNT.....	156
Figure 10.6: évolution de la biomasse des mauvaises herbes pour TCT et SDT.....	157
Figure 10.7: analyse de la biomasse des mauvaises herbes pour SDT et TCT.....	158
Figure 10.8: la biomasse des mauvaises herbes pour TCNT et SDT.....	159
Figure 10.9: évolution de la biomasse des mauvaises herbes pour TCNT et SDNT.....	159
Figure 10.10 : diagramme de la biomasse entre TCNT et SDNT.....	160
Figure 11.1 : Variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour la technique de travail du sol classique et les deux traitements d'herbicide.....	162
Figure 11.2: Variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour la technique de semis direct et les deux traitements d'herbicide..	163
Figure 11.3 : variation de la porosité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour la technique de travail du sol classique avec et sans traitement herbicide....	165
Figure 11.4 : la variation de la porosité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour la technique de semis direct avec et sans traitement herbicide.....	167
Figure 11.5 : La variation de la résistance pénétrométrique du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour la technique de semis direct avec et sans traitement herbicide.....	169
Figure 11.6 : courbe représentant la corrélation entre Rp TCT et Rp TCNT.....	171

Figure 11.7 : courbe représentant la corrélation entre Rp SDT et Rp SDNT.....	172
Figure 11.8 : variation de la densité racinaire pour TCT et TCNT.....	173
Figure 11.9 : variation de la densité racinaire pour SDT et SDNT.....	174
Figure 11.10: estimation de la hauteur et du diamètre des tiges du sorgho fourrager.....	175
Figure 11.11 : diagramme de dominance de la hauteur et du diamètre des tiges du sorgho.	176
Figure 11.12 : variation du PMG pour les parcelles travaillées en fonction du traitement herbicide.....	177
Figure 11.13 : variation du PMG pour les parcelles non travaillées en fonction du traitement herbicide.....	178
Figure 11.14 : variation du nombre de grains par épi en fonction du traitement herbicide pour les parcelles travaillées.....	179
Figure 11.15: variation du nombre de grains par épi en fonction du traitement herbicide pour les parcelles non travaillées.....	179
Figure 11.16 : la variation du nombre d'épi/m ² pour le TCT et le TCNT.....	180
Figure 11.17 : la variation du nombre d'épi/m ² pour le SDT et le SDNT.....	181
Figure 11.18 : variation du rendement théorique pour les sols travaillés en fonction du traitement à l'herbicide.....	182
Figure 11.19 : variation du rendement théorique pour les sols non travaillés en fonction du traitement à l'herbicide.....	183
Figure 11.20 : courbe représentant la corrélation entre RDT (TCT) et RDT (TCNT).....	184
Figure 11.21 : photos montrant l'effet de l'herbicide sur la culture.....	185
Figure 11.22 : Effet des techniques culturales et des traitements à l'herbicide sur la culture	186
Figure 11.23.24 : représentation de la densité des mauvaises herbes pour TCT/TCNT et SDT/SDNT.....	190
Figure 11.25.26 : évolution de la densité des mauvaises herbes au cours des stades de développement du sorgho fourrager.....	190
Figure 11.27: analyse de l'effet de l'herbicide sur la biomasse des mauvaises herbes.....	191
Figure 11.28: évolution de la biomasse des mauvaises herbes au cours des stades de développement du sorgho fourrager.....	192
Figure 11.29: diagramme de dominance de la biomasse des mauvaises herbes.....	192
Figure 11.30: photo illustrant l'efficacité du traitement à l'herbicide.....	193
Figure 11.31: courbe de régression entre H ⁰ et D.....	194
Figure 11.32: courbe régression de hauteur tige (SD) par H% SD	196
Figure 11.33: courbe de régression entre RDT et D.....	197
Figure 11.34: courbe régression de hauteur tige (SD) par H% SD	198

Liste des tableaux

Tableau 2.1 : facteurs influant sur le choix des techniques culturales.....	17
Tableau 3.1 : Caractérisation de l'enracinement d'un plan de blé au tallage dans trois sols de texture différente (unité de mesure en mm).....	43
Tableau 3.2 : longueur moyenne des racines d'orge pour deux valeurs de résistance mécanique à la pénétration.....	48
Tableau 3.3 : Caractéristiques physiques des sols et densité d'occupation racinaire du blé dans deux types de sols.	49
Tableau 4.1 : analyse granulométrique du sol	60
Tableau 4.2 : poids de mille graines	61
Tableau 4.3 : taux de germination.....	61
Tableau 4.4 : poids du sol.....	61
Tableau 4.5 : les doses d'irrigations suivies.....	64
Tableau 5.1 : Conditions climatiques du site 01.....	72
Tableau 5.2 : conditions climatique du site 02.....	72
Tableau 5.3 : Analyse granulométrique du site 01.....	74
Tableau 5.4 : Analyse granulométrique du site 02.....	74
Tableau 5.5 : Analyse granulométrique du site 03.....	75
Tableau 6.1 : Résultats de tarage du pénétromètre.....	90
Tableau 7.1 : variation de l'humidité du sol.....	98
Tableau 7.2 : évolution de la porosité totale du sol.....	99
Tableau 7.3 : résistance pénétrométrique en relation avec la profondeur.....	101
Tableau 7.4 : évolution de la résistance pénétrométrique moyenne.....	102
Tableau 7.5 : La résistance pénétrométrique en relation avec la porosité et la teneur en eau.....	104
Tableau 8.1 : Résistance pénétrométrique en relation avec la technique et la profondeur...124	
Tableau 8.2 : la variation de la moyenne de chaque paramètre pour les quatre traitements.125	
Tableau 8.3 : représentation des corrélations entre les différents paramètres [H(%), n (%), Rp (daN/cm ²)]......	126
Tableau 8.4 : les corrélations entre différentes valeurs de Rp.....	128
Tableau 9.1 : variation de la densité racinaire pour les quatre traitements.....	134
Tableau 9.2 : Valeurs moyennes de la densité et des diamètres des racines dans le sol pour chaque technique.....	137
Tableau 9.3 : analyse de la variance.....	140
Tableau 9.4 : analyse de la variance.....	142
Tableau 9.5 : tableau de corrélation du nbre gr/epi.....	142
Tableau 9.6 : analyse de la variance	145
Tableau 9.7 : La variation de la moyenne du rendement pour les quatre traitements.....	148

Tableau 9.8 : représentation des corrélations entre différentes valeurs de RDT.....	149
Tableau 10.1: densité des mauvaises herbes pour les parcelles TCT et SDT.....	152
Tableau 10.2: évolution de la densité de la flore adventice pour TCNT et SDNT.....	154
Tableau 10.3: analyse de la biomasse des mauvaises herbes pour TCT et SDT.....	157
Tableau 10.4: représentation de la biomasse des mauvaises herbes pour TCNT et SDNT..	159
Tableau 11.1 : analyse de la variance.....	178
Tableau 11.2: analyse de la variance.....	180
Tableau 11.3 : analyse de la variance	181
Tableau 11.4 : analyse de la variance.....	183
Tableau 11.5: Liste des mauvaises herbes recensées au coures de notre expérimentation...	188
Tableau 11.6: évaluation du degré d'efficacité de l'herbicide dans les parcelles semis direct.....	189
Tableau 11.7: évaluation du degré d'efficacité de l'herbicide dans les parcelles travail du sol classique.....	189

Avant-propos

Je remercie ALLAH le tout puissant de m'avoir donné la force et le courage d'aller au bout de cette thèse.

La réalisation de cette thèse n'aurait pas été possible sans l'aide que m'a apporté un grand nombre de personnes tant pour les aspects scientifiques et administratifs de mon travail que pour le plan personnel.

Je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements à toute ma famille : A mes chers parents qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui. Je ne vous remercierai jamais assez pour votre présence et votre dévouement. A ma chère épouse qui m'a soutenu et encouragé, et pour sa contribution quant à la mise en forme de la thèse.

Cette thèse n'aurait pas pu s'écrire sans l'appui moral de ma famille, en particulier, mes sœurs, mon frère, mes beaux-frères, mes beaux-parents et toute ma belle-famille. Ce travail est aussi le vôtre.

Ce travail est signé de mon nom mais il est le fruit de diverses collaborations. En premier lieu, J'ai beaucoup de plaisir à remercier mon directeur de thèse Monsieur AMARA Mahfoud qui m'a accompagné depuis sept ans, depuis mon ingéniorat avec sa confiance, sa complémentarité, sa disponibilité, son enthousiasme et ses idées pour que cette thèse puisse être menée à bien. Exigeant mais toujours chaleureux, il m'a entraîné plus loin dans la réflexion et dans la rigueur ; avec humour et patience, il a su amoindrir certains de mes nombreux défauts et renforcer certaines de mes rares qualités. Ce travail est marqué de son empreinte : j'en retire un profond respect et une grande fierté.

Je tiens aussi à remercier Monsieur AIDAOUI Abdallah, professeur à l'ENSA, pour ses encouragements, son soutien et pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury.

Je suis très sensible à la présence dans ce jury de Monsieur HARTANI Tarik professeur au centre universitaire de Tipaza, et Monsieur BENMOUSSA Mabrouk, Professeur à l'université SAAD Dahleb de Blida, qui ont accepté d'examiner mon travail de thèse et contribuer sans doute à son enrichissement.

Je tiens à remercier l'ITGC de Oued Smar pour avoir mis à notre disposition tous les moyens nécessaires pour mener à bien cette expérimentation.

Je profite de cette thèse pour remercier ceux qui, dans mon parcours professionnel et académique, m'ont conduit jusqu'ici, j'ai bénéficié des apports très enrichissants de mes enseignants de l'ENSA et du département Génie Rural de l'ENSA. Que tous ici reçoivent l'expression de ma profonde et sincère gratitude

Je souhaite remercier tous mes collègues du Génie Rural, en particulier ceux du machinisme agricole pour leurs soutiens et encouragements.

Ces travaux doivent aussi beaucoup au labeur d'étudiants en particulier Delmadji Assam et Hemani Adel qui ont bien voulu, pour un temps, partager avec moi ce parcours de recherche.

Merci aussi à tous mes collègues et amis de longue date, Je leurs exprime ma profonde sympathie et leur souhaite beaucoup de bien.

Merci à tous

FEDDAL MOHAMED AMINE

Je dédie cette thèse :
A ma chère épouse Sabrina et ma petite princesse
Yasmine
A mes chers parents
A mes beaux parents
A mes sœurs et frère
A mes beaux-frères, ma belle-sœur
A mes neveux et nièces
A tous mes amis
A mes collègues du G.R

Amine

Introduction générale

Introduction générale

Selon le **Centre national de l'informatique et des statistiques en 2014**, la production céréalière algérienne de la saison agricole 2012 – 2013 avait atteint 49,1 millions de quintaux au niveau national, en recul de 900.000 quintaux par rapport à la saison précédente. Alors que la facture des importations algériennes des céréales (blé, orge et maïs), durant les cinq premiers mois de 2014, était estimée à 1,44 milliard USD contre 1,32 milliard à la même période de l'année écoulée, en hausse de 9,04% en valeur.

Les quantités importées ont atteint 4,86 millions de tonnes, les cinq premiers mois de 2014, contre 3,77 millions de tonnes durant la même période en 2013. Dans cette même année, les importations des céréales ont totalisé 3,16 milliards de dollars, contre 3,18 milliards de dollars à la même période en 2012, enregistrant un léger recul (0,62%). **(CNIS, 2014)**.

La production céréalière algérienne a atteint son record depuis 1961, avec 52 million de quintaux en 2009 alors que les besoins nationaux en céréales sont estimés à environ 80 millions de qx/an, le reste est importé, l'Algérie est donc l'un des plus importants pays importateurs de céréale au monde.

En dépit d'indéniables progrès, les rendements céréaliers demeurent faibles et très irréguliers : 13,5 q/ha pour le blé en moyenne sur 2001-2010 et 13,2 pour l'orge, ce qui se situe loin derrière la productivité des pays méditerranéens de l'Europe.

Selon **Amara et al, 2008**, la céréaliculture algérienne enregistre ces baisses de rendement à cause d'une maîtrise insuffisante de l'un des principaux facteurs de production à savoir la mécanisation des différentes étapes de l'itinéraire technique. Selon les mêmes auteurs, bien que considérée comme relativement développée, la mécanisation de la céréaliculture algérienne ne répond que partiellement aux conditions édaphiques et climatiques.

La préparation du sol est l'une des plus importantes opérations dans l'itinéraire technique, elle vise à améliorer les conditions favorables à la croissance des plantes. Les agriculteurs comptent plusieurs options de travail du sol, lesquelles peuvent toutes être classées dans un des trois principaux systèmes de travail du sol : le semis direct, le travail minimum du sol, et le travail du sol classique conventionnel. Ce dernier a comme avantage que les machines à employer sont largement disponibles et que les techniques sont bien connues des agriculteurs. Les méthodes plus récentes nécessitent peut-être l'achat de machines ou d'accessoires nouveaux et, dans bien des cas, l'agriculteur doit apprendre à les faire fonctionner. Le travail du sol classique peut rendre le sol plus poreux et plus meuble, ce qui

favorise l'échange d'air et la croissance des racines. C'est aussi une bonne façon d'incorporer du fumier et de retourner la prairie. De plus, le sol ainsi travaillé se réchauffe plus rapidement au printemps.

Cependant, le peu de résidus laissés en surface par le travail du sol classique rend le sol plus vulnérable à l'érosion éolienne et hydrique. Tous ces problèmes ajoutés à cela le coût économique ont conduit à l'apparition de nouveaux systèmes tels que le semis direct.

D'après (**Attah. Boame, 2005**) Comparativement aux autres pratiques de travail du sol, le semis direct procure plusieurs avantages économiques, environnementaux et agronomiques. Il permet de protéger les sols, augmenter le taux de matière organique et de freiner le ruissellement (tout en accroissant l'infiltration d'eau). Les matières organiques des résidus aident à retenir l'humidité, à réduire l'évaporation et à prévenir l'assèchement du sol. Là où l'humidité constitue un facteur restrictif, le semis direct permet aussi de limiter la déshumidification et améliore donc la production. Plus on travaille le sol, plus on perd de matières organiques. Celles-ci jouent un grand rôle dans l'activité biologique bienfaisante comme celle des bactéries, des champignons et des vers qui interviennent dans le cycle nutritif et accélèrent la décomposition des pesticides. Les matières organiques du sol jouent aussi un rôle dans les changements climatiques, puisqu'elles emmagasinent le carbone.

Mais en dépit de tous les avantages que présente le semis direct, plusieurs facteurs en découragent actuellement l'utilisation. Un des principaux inconvénients relatifs au semis direct est la prolifération des mauvaises herbes. En effet, plusieurs travaux affirment que le semis direct entraîne une concentration plus élevée de semence de mauvaises herbes en surface ce qui peut favoriser des germinations potentielles plus importantes qu'en labour. (**Dorado et al. 1999**),

Debaecke et al. (1990) affirment que le semis direct provoque une amplification du développement des vivaces comme le chardon et les liserons ainsi que de certaines graminées annuelles comme les sétaires, les digitaires et les panics.

Selon une étude menée sur sept ans par **l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie française**, le nombre moyen de passage d'herbicide sur la culture du blé est de 1,8 en labour contre 2,2 en non labour. Le système sans labour 5 années sur 7 est le plus propice au développement du brome, du gaillet, du géranium et du vulpin. Le Ray Grass et la folle avoine ne sont pas influencés par les différents systèmes. Globalement le système

avec labour a tendance à être défavorable à très défavorable pour les principales mauvaises herbes rencontrées par les agriculteurs alors que le système sans labour a tendance à être favorable à très favorable pour ces mêmes espèces.

En Algérie, **Rahali., Makhlouf, Benkherbache (2011)** ont étudié l'influence de l'itinéraire technique sur le stock semencier des mauvaises herbes de la zone semi- aride de Sétif, ils affirment que chaque technique culturale induit une évolution particulière du stock semencier. Le désherbage mécanique augmente le stock profond à long terme et régulièrement, contrairement au travail minimum qui le concentre dans les premiers centimètres du sol alors que le semis direct le laisse en surface. Dans le cas d'une technique classique, un travail du sol débute par un déchaumage, permet d'enfouir les résidus de la récolte précédente, et les grains de mauvaises herbes qui peuvent exister sur la surface du sol.

Parmi les autres problèmes liés au semis direct, on cite le tassement du sol, selon plusieurs auteurs dans le monde tels **Y. Chen, C. Cavers, S. Tessier, F. Monero, et D. Lobb 2004**, affirment que les techniques culturales simplifiées posent de grands problèmes dans les sols argileux lourds et quelques sols argileux limoneux. **Xu et Mermoud, 2001**, affirment que le semis direct provoque une mauvaise infiltration de l'eau dans le sol ce qui provoque des ruissellements importants dans les sols à pentes, selon les mêmes auteurs un développement réduit des racines a été enregistré dans des sols argileux ainsi qu'une réduction significative des rendements.

En Algérie, parmi les études menées dans ce contexte on citera celle de **Bouzrara, Ould Ferroukh et Bouguendouz en 2010**, qui ont mené une étude à Sétif, leurs observations sont confirmées par la mesure de l'infiltration de l'eau qui semble être favorisée par les techniques culturales simplifiées alors que le semis direct la réduit. Ces variations sont induites par le gain de matière organique en surface occasionné par le semis direct et par la réduction du travail du sol (TCS). Ceci a pour conséquence directe l'amélioration de l'état structural qui a été mis en évidence grâce aux trois traitements de la méthode Le Bissonnais (1996). Cette analyse a démontré un meilleur comportement des agrégats de surface issus du SD vis-à-vis des différentes contraintes occasionnées par les trois tests hydriques. Les valeurs imputées à l'application des TCS sont moins bonnes mais restent légèrement meilleures que celles sous T.C.

L'introduction des techniques culturales simplifiées en Algérie reste timide, elle est à son stade expérimentale, on enregistre actuellement une introduction du système semis direct

dans les régions de Sétif, Oum El Bouaghi, Guelma ou Annaba, des EAC et EAI se sont déjà convertis à cette nouvelle pratique. On compte déjà une vingtaine de semoirs de semis direct sur le terrain, près de 7000 hectares sont concernés. Néanmoins, cette introduction pose des problèmes d'ordres pédologiques, économiques, et environnementaux.

La plus grande part des travaux réalisés déjà en Algérie dans ce contexte concerne les aspects phytotechniques (rendements, contrôle des résidus, contrôle des mauvaises herbes et rotations des cultures) et de machinisme agricole (semoirs). Mais, très peu se sont intéressées à l'impact qu'auront ces techniques sur les propriétés physico – mécaniques du sol et les conséquences sur le développement racinaire ainsi que sur le rendement.

Et c'est dans ce contexte que nous avons voulu apporter notre contribution à savoir l'analyse du comportement du sol sous l'action de trois techniques culturales (travail conventionnel, travail minimum et semis direct) pour la mise en place des céréales, et conséquences sur le développement racinaire, et le rendement final de la culture.

, la problématique de cette recherche se définit comme suit:

- *Y a-t-il un effet de l'action successive des outils aratoires sur les propriétés physiques et mécaniques du sol ?*
- *Quelle est l'impact du travail du sol conventionnel et semis direct sur la rétention en eau, la porosité, et la résistance pénétrométrique du sol, le développement racinaire et le rendement final de la culture ?*
- *Le système semis direct a-t-il un impact plus important que le travail du sol classique sur l'infestation des parcelles en mauvaises herbes ?*
- *L'utilisation de l'herbicide est-il plus importante en semis direct qu'en travail conventionnel ? la concurrence des mauvaises herbes provoque-elle des pertes en rendement?*

L'enjeu donc de cette thèse est d'acquérir des connaissances sur ces nouvelles techniques culturales, en analysant l'effet de ces dernières sur les propriétés du sol, le développement racinaire et conséquences sur le rendement, et aussi l'effet sur la prolifération

des mauvaises herbes et d'étudier aussi l'efficacité du traitement chimique en semis direct et en travail du sol classique.

L'objectif de cette recherche sera donc d'estimer la valeur de la résistance pénétrométrique comme indicateur de la qualité structurale des sols, ceci en analysant la corrélation entre différents paramètres comme la masse volumique apparente sèche (ρ_{as}), la résistance pénétrométrique (R_p), la teneur en eau (W) et le rendement (R_{dt}), à différentes échelles spatiales, à l'aide de l'analyse statistique.

Notre travail portera essentiellement sur une analyse de l'évolution de ces propriétés physiques du sol sous l'effet de trois techniques culturales qui sont le semis direct et le travail conventionnel et le travail minimum du sol. Nous analyserons aussi la densité et la biomasse des mauvaises herbes dans les parcelles traitées et non traitées à l'herbicide.

On essayera de montrer aussi que chacune des étapes de la préparation du sol a un effet sur la porosité, la teneur en eau et sur la résistance pénétrométrique. Cette étude sera également un moyen important pour le choix d'une mécanisation appropriée des opérations de travail du sol.

Organisation de la thèse :

Cette thèse s'organise autour de onze chapitres. Les chapitres 01,02, et 03 sont une analyse bibliographique centrée sur les objectifs et l'importance des techniques culturales, leurs effets pédologiques, économiques et environnementaux, et l'impact de l'état structural du sol sur le développement racinaire des plantes.

Le chapitre 04 porte sur des essais préliminaires, effectués dans le but de faire ressortir l'importance d'un bon état structural du sol sur le développement de la culture.

La partie expérimentale s'articule autour de deux grandes parties :

La première relative à l'effet des techniques culturales sur le sol, autrement dit, l'analyse du comportement physico - mécanique du sol sous l'action de trois techniques culturales (le travail du sol classique, le travail minimum et le semis direct), incidence sur le développement racinaire et conséquence sur le rendement du blé dur.

La deuxième partie porte sur l'analyse de l'effet des techniques culturales sur l'infestation en mauvaises herbes.

Enfin, on terminera avec une conclusion générale, ou on synthétisera tous les résultats obtenus et les perspectives dans ce domaine.

Synthèse bibliographique



*Chapitre 1. Place et importance des
céréales dans l'agriculture algérienne*

Introduction

Les céréales et leurs dérivées constituent l'alimentation de base dans beaucoup de pays en développement, particulièrement dans les pays maghrébins. La filière céréalière constitue une des principales filières de la production agricole en Algérie.

Les cinq principales céréales au monde sont le maïs, le riz, le blé, l'orge et le sorgho. Parmi ces céréales, le blé occupe la deuxième place pour la production mondiale et la deuxième aussi après le riz, comme source de nourriture pour les populations humaines, il assure 15% de ses besoins énergétiques.

Ce chapitre a pour but de mettre en évidence l'examen de l'évolution de la production, des rendements et du taux d'autosuffisance des céréales à la lumière de son importance dans l'agriculture algérienne.

1.1.Place et importance de la céréaliculture dans l'agriculture algérienne

En début de 21^{ème} siècle l'agriculture mondiale fait face à de nouveaux enjeux. D'une part, la demande en céréale va doubler d'ici 2050, en lien avec l'accroissement des besoins de l'alimentation du bétail (**Trewavas, 2002**). D'autre part, les nouvelles exigences de la société imposent une production agricole garantissant la sécurité sanitaire, la qualité nutritionnelle et le respect de l'environnement (**Trewavas, 2002**).

Les céréales tiennent de loin, la première place quant à l'occupation des terres agricoles, parce qu'elles servent d'aliments de base pour une grande proportion de la population mondiale. En Algérie, tout comme en Afrique du Nord, ces cultures représentent la principale spéculation et draine plusieurs activités de transformation ; en semoulerie, en boulangerie et en industrie agro-alimentaire. Elles constituent également la base de l'alimentation et occupent une place privilégiée dans les habitudes alimentaires de la population aussi bien dans les milieux ruraux qu'urbains. En effet, la consommation individuelles était évaluée en 2000 à 205 kg /an en Tunisie, 219 kg/an en Algérie et 240 kg/an au Maroc (**Boulal et al, 2007**).

Les céréales se répartissent dans des zones agro climatiques homogènes suivantes :

- Les plaines littorales, sublittoral et, le nord des hauts plateaux forment une zone à haute potentialité céréalière (34% de la superficie emblavée) où, il pleut 450mm /an.
- Le sud des hauts plateaux forme une zone agropastorale où la céréaliculture vivrière est liée à l'élevage ovin (50% de la superficie emblavée) et, il pleut près de 400 mm/an.
- La zone steppique où la culture des céréales (15.5 % de la superficie emblavée) dominée par les orges, l'élevage ovin associé au pâturage de la steppe et, où il pleut entre 200 - 400mm/an.
- Les zones du sud pratiquent la céréaliculture sous irrigation et dans les oasis (1.5% de la superficie emblavées)

1.1.1. Importance agronomique et socioéconomique du blé

Le blé est une culture importante pour plusieurs raisons, parmi lesquelles :

- ⇒ La surface réservée à ce type de cultures est de 743 millions d'hectares (**FAO, 2001**), plus grande que la surface de toutes les autres cultures réunies. (**Haldore, 1982**).
- ⇒ Le blé apporte plus de calories (**Borlaug, 1982**) et plus de protéine dans l'alimentation humaine mondiale, que n'importe qu'elle autre culture alimentaire.
- ⇒ Le commerce mondial dans le blé dépasse le commerce de tous les autres grains combinés. Les plantes constituent 93 % de l'alimentation mondiale. Les céréales contribuent au deux tiers de toute la nourriture, et parmi les céréales, le blé est la plus grande culture. Les produits animaux qui composent le reste 7% de l'alimentation du monde viennent bien sûr indirectement de plantes de céréales et fourrages.
- ⇒ De la production de protéine totale, trois quarts viennent des végétaux. Le blé lui seul contribue à la même quantité de protéine d'origine animale (**Borlaug, 1982**), comme viande, lait, et œufs.
- ⇒ Selon les régions, les différents types de blé sont sélectionnés pour leur adaptation à la zone ou au climat et pour leur rendement. Selon la FAO, 2004, actuellement, seules les variétés de blé tendre et blé dur ont une importance commerciale internationale, car elles sont adaptées à leur milieu et fournissent l'essentiel des programmes de cultures céréalières.

⇒ Le blé dur est principalement cultivé par les pays situés autour du bassin méditerranéen, sur le continent américain (Amérique du Sud et Etats Unies) ainsi que l'Inde et la Chine.

1.1.2. La production céréalière en Algérie

La production de céréales en Algérie est marquée par une forte irrégularité, elle-même conditionnée par les aléas climatiques (figure 1.1). Ainsi, sur les 40 dernières années, on enregistre un écart de 1 à 5 entre une année calamiteuse (9,7 millions de qx en 1994) et une année d'abondance (52,5 millions de qx en 2009) (figure 1.1). Cependant, les progrès technico-économiques, s'ils ne parviennent pas à stabiliser la production du secteur, ont permis de l'augmenter significativement : la moyenne décennale a ainsi presque doublé entre 1981-90 (18,2 millions de qx) et 2001-2010 (34,9 millions de qx), avec une progression régulière qui a permis d'accompagner la progression démographique (de 19 à 38 millions d'habitants entre 1980 et 2012).

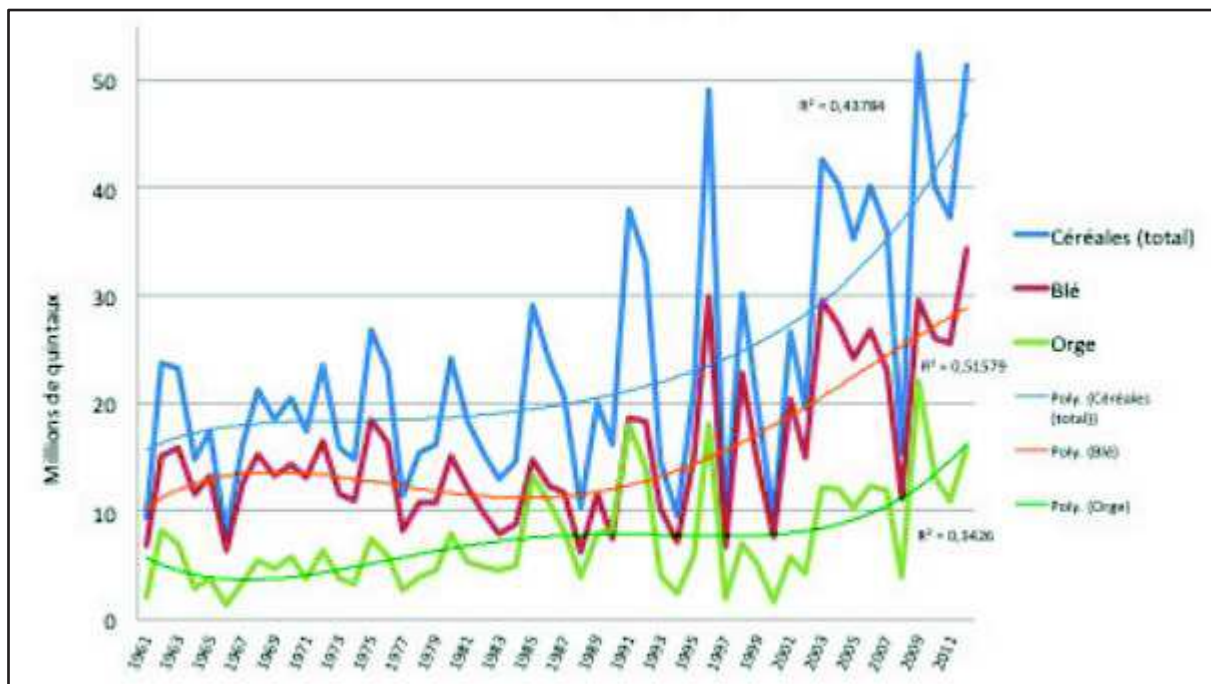


Figure 1.1: Évolution de la production céréalière entre 1961 et 2011.

Source : FAOSTAT, 2013

La production moyenne des céréales des 5 dernières années (2008 à 2012), qui a légèrement dépassé 32 millions de quintaux selon la Fao, se répartit de la façon suivante :

- Blé, 19 millions de qx (60%)

- Orge, 13 millions de qx (40%)

Le blé dur reste ainsi la céréale prépondérante en Algérie. Généralement bien adapté aux conditions locales, sa production progresse au même rythme que celle du blé tendre (+ 47% entre les moyennes quinquennales 2000-2004 et 2008-2012), contre + 84% pour l'orge, qui reste plus importante que le blé tendre, à plus de 13 millions de quintaux en 2008-2012, contre 8 pour le blé tendre et 19 pour le blé dur.

En dépit d'indéniables progrès, les rendements céréaliers demeurent faibles et très irréguliers : 13,5 q/ha pour le blé en moyenne sur 2001-2010 (le blé dur, mieux adapté aux conditions agro-climatiques locales bénéficie de rendements sensiblement supérieurs à ceux du blé tendre) et 13,2 pour l'orge, ce qui se situe loin derrière la productivité des pays méditerranéens de l'Europe et s'explique à la fois par des causes naturelles (sol et climat), techniques (semences, pratiques culturales) et humaine (organisation et formation des producteurs).

La production céréalière de la saison agricole 2012 – 2013 avait atteint 49,1 millions de quintaux au niveau national, en recul de 900.000 quintaux par rapport à la saison précédente. Ce recul est dû, selon les professionnels, à la sécheresse qui avait touché les wilayas de l'Est du pays, d'où provient le gros de la récolte nationale céréalière. Et cette année, la récolte ne devrait pas être importante en raison de la sécheresse qui a sévit durant l'hiver et le printemps dans tout le pays. Par ailleurs, les importations des céréales en 2013 ont totalisé 3,16 milliards de dollars, contre 3,18 milliards de dollars à la même période en 2012, enregistrant un léger recul (0,62%). **(CNIS, 2014)**

L'Algérie a importé pour 970,66 millions de dollars de blé durant les cinq premiers mois de 2014, en hausse de 6,47% par rapport à la même période de 2013. Les quantités de blé (tendre et dur) importées ont atteint 3,004 millions de tonnes, contre 2,447 millions de tonnes durant la même période de comparaison, en hausse également de 22,7%. **(CNIS, 2014).**

Les importations de blé dur ont atteint 278,85 millions de dollars pour une quantité 715.660 tonnes, en hausse de 35% en valeur. Celles du blé tendre, par contre, ont dépassé les 2,28 millions de tonnes pour une valeur de 691,81 millions USD, enregistrant une légère baisse en valeur de (1,86%). **(CNIS, 2014).**

En dépit de cette légère baisse, les importations du blé tendre continuent toujours à alourdir la facture des importations cérésières du pays durant les cinq premiers mois de 2014.

Globalement, la facture des importations algériennes des céréales (blé, orge et maïs), durant les cinq premiers mois 2014, est estimée à 1,44 milliard USD contre 1,32 milliard à la

même période de l'année écoulée, en hausse de 9,04% en valeur. **(CNIS, 2014)** Les quantités importées ont atteint 4,86 millions de tonnes, les cinq premiers mois de 2014, contre 3,77 millions de tonnes durant la même période en 2013. **(CNIS, 2014)**

Par ailleurs, le Cnis relève que les importations d'orge ont atteint 78,28 millions USD pour une quantité de près de 296.098 tonnes durant la même période de référence, en baisse de 15,31% en termes de valeur. **(CNIS, 2014)**

Le maïs, l'Algérie a importé pour 394,73 millions USD pour une quantité de plus de 1,562 million de tonnes, en hausse de 24,49% en valeur. **(CNIS, 2014)**

Les besoins nationaux en céréales sont estimés à environ 8 millions de tonnes/an, ce qui classe l'Algérie comme l'un des plus importants pays importateurs de céréale au monde.

Comme ces chiffres l'indiquent, 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.

Selon plusieurs auteurs tels qu'Amara et al, 2006 et Kelkouli, 2008, ces faiblesses de la production sont dues à plusieurs facteurs, parmi lesquels :

- Le changement climatique notamment, la sécheresse et les accidents climatiques
- L'approvisionnement et l'endettement des agriculteurs suite aux effets de sécheresse
- La faible utilisation des intrants pour leur cherté, rareté ou parfois, par peur des effets négatifs durant les périodes sèches
- Le non-respect de l'itinéraire technique, notamment les techniques culturales, particulièrement la préparation du sol qui sont négligées ou méconnues, faute de sensibilisation ou par manque de matériel adéquat
- Ajoutant à cela, le manque de maîtrise de technique de production.
- les contraintes édaphiques : une profondeur du sol réduite par des accumulations calcaires dures, limitant la réserve hydrique et le développement racinaire. Elles agissent également par l'état structural de l'horizon de surface qui détermine en grande partie le fonctionnement hydrique du sol. Les caractéristiques chimiques, biochimiques et biologiques du sol peuvent constituer également des contraintes.

1.2.Exigences des blés d'hiver

1.2.1. Les exigences climatiques

En ce qui concerne la température, d'après **Kelkouli, 2011**, 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 les régions semi-arides, 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 (**Kelkouli, 2011**) 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.

1.2.2. 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 (**Kelkouli, 2008**), au-dessous de 500mm, la plante subira un effet de stress dont l'importance dépend de la répartition de cette eau (**Kelkouli, 2008**). 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 (**Kelkouli, 2008**). 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 talles, qui a son tour influe sur le nombre d'épi/m² (**Kelkouli, 2008**). 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 ((**Kelkouli, 2008**)). 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, le choix du précédent cultural et le respect de l'itinéraire technique recommandée et plus particulièrement les techniques de préparation du sol qui pourraient contribuer au maintien de l'eau dans le sol.

1.2.3. 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 des techniques de préparation du sol qui ont un rôle important sur l'émiettement du sol et sur la profondeur de travail.

1.2.4. Conduite culturale

1.2.4.1. La mise en place

Les conditions de semis et en particulier la date de semis joueront un rôle déterminant sur le nombre d'épis. Dans le cas du semis tardif, il faudra augmenter la densité de semis pour obtenir le même nombre d'épis (**Couvreur, 1981**). C'est ainsi qu'un semis précoce réduit la phase levée de 10 jours, et permet une levée sans pertes et homogène. Les semis doivent être réalisés à l'aide de semoirs en ligne pour avoir une levée régulière et homogène, avec un écartement de 20 à 25 cm et de 2 à 4 cm de profondeur et une densité de 300 à 350 grains/m²

selon la faculté germinative, le poids de mille grains, la pureté variétale, une bonne préparation du sol et les conditions pédoclimatiques de la région (ITGC, 1995).

1.2.4.2. Place du blé dans la rotation

Les meilleurs précédents du blé varient selon la région et ses conditions climatiques, cependant, si on peut les classer par ordre de mérite, on commence par ceux qui laissent le sol humide, propre, profond et riche en éléments minéraux. Dans les régions semi-arides, ces dernières années, on a constaté que la pomme de terre, la jachère travaillée et les légumineuses alimentaires en irriguées sont les meilleurs précédents (ITGC).

Concernant la fertilisation azotée, les besoins du blé sont de l'ordre de 2.5 à 4 kg par quintal de grain (Remy, 1981, in Benzohra, 1996), sous forme d'ammonitrate de préférence ou de solution azotée (urée ou sulfate d'ammonium) et fractionnée en deux ou trois apports : soit en début tallage, début montaison et parfois même à l'épiaison, selon les résultats des travaux de l'ITGC. Pour le phosphore, les besoins sont compris entre 1.3 à 1.6 kg de P₂O₅ par quintal de grain, d'habitude ce fertilisant fait partie des engrais de fonds et peut être épandu avant les semis et enfouie durant les labours. Tandis que la potasse, les besoins sont situés entre 1.5 à 4 kg de K₂O₅ par quintal de grain, cet engrais doit être épandu avant les semis, en même temps que le phosphore.

Conclusion

La production céréalière en Algérie est irrégulière, elle est fortement dépendante des conditions climatiques. Cela se traduit d'une année à l'autre par des variations importantes de la SAU, de la production et du rendement. Ainsi, le manque de précipitations, mais aussi la mauvaise répartition des pluies pendant l'année expliquent en grande partie la forte variation de la production céréalière.

La maîtrise insuffisante de l'un des facteurs de production agricole les plus importants à savoir la mécanisation de la céréaliculture a accentué les baisses des rendements des céréales en générales, et c'est dans ce contexte qu'on veut apporter notre contribution, à savoir l'étude des techniques culturales susceptible d'améliorer et de conserver le maximum d'humidité du sol, parallèlement à la réalisation d'infrastructures hydrauliques importantes.

On tentera au prochain chapitre de présenter les techniques culturales les plus répondus dans le monde et en Algérie, et les travaux relatifs à l'effet de ces techniques sur le plan pédologique, économique et environnemental.

Chapitre 2.

Rôles et importance des techniques culturales

Introduction

Outre l'importance des facteurs de production comme l'état de la semence, la qualité et la quantité des intrants, des moyens de production et plus particulièrement la préparation du sol pour la mise en place d'une céréale ou d'une culture en générale, joue un rôle fondamental pour la réussite de la culture.

Dans l'itinéraire technique de la mise en place des cultures, le travail du sol est souvent la première opération à réaliser. De sa réussite, dépend celle du rendement de la culture à mettre en place. En effet une bonne préparation du sol offrira à la plante un milieu adéquat à son développement.

Cependant, cette première étape de la mise en place d'une culture n'est pas toujours facile à réaliser au vu de l'irrégularité des conditions climatiques et de la variabilité spatiale du sol caractérisé par un état souvent différent d'une parcelle à une autre et même au niveau de la même parcelle.

Pour répondre à ces préoccupations, le choix de la technique à utiliser doit se faire de façon raisonnée. Les agriculteurs comptent plusieurs options de travail du sol, lesquelles peuvent toutes être classées dans un des trois principaux systèmes de travail du sol : le semis direct ou la suppression totale de toute intervention mécanique sur le sol; le travail minimum du sol ou on travaille le sol avec des outils à dents sans retournement du sol; et le travail du sol classique conventionnel qui comporte l'enfouissement de la plupart des résidus de récolte avec retournement du sol.

Seront présentées dans ce chapitre les techniques culturales les plus répandues, les objectifs visés par ces techniques, les choix des techniques qui peuvent y être associés ainsi que l'impact de ces techniques sur l'aspect agronomique, environnemental et socio-économique.

2.1. Objectifs des opérations de préparation du sol

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 plus particulièrement au 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 et économiques. 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 les propriétés physiques du sol 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 suivant :

Tableau 2.1 : facteurs influant sur le choix des techniques culturales

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)**

Ce tableau montre clairement que l'état initial du sol joue un rôle important sur la technique culturale à réaliser.

Le travail du sol permet de conserver et d'accroître la porosité du sol et d'améliorer la perméabilité de la couche travaillée. Il peut en effet aboutir à la fois à une augmentation de l'infiltration, ainsi qu'une amélioration de la circulation latérale de l'eau. Ce qui est important pour la constitution de la réserve d'eau.

Le travail du sol doit permettre l'obtention d'une bonne répartition et d'une bonne mobilité des agrégats et particules du sol pour permettre aux racines de se développer correctement afin de puiser les éléments nutritifs nécessaires au développement de la culture. Cette mobilité des agrégats les uns par rapports aux autres, favoriserait le cheminement des racines pendant leurs croissances dans le sol, puisque leur extrémité exerce une pression qui peut déplacer les particules de terre. Cette mobilité dépend de la structure du sol caractérisée par sa compaction et de son humidité.

Pour une structure donnée, une humidité trop faible ou trop élevée, peut réduire la mobilité des agrégats et gêner ainsi le bon fonctionnement des pièces travaillantes des outils aratoires et même des racines.

Les actions du travail du sol visent donc, avec ou sans l'appoint des agents climatiques, à ameublir la couche arable et à préparer un lit de semences favorable. Cette action, désigne les opérations mécaniques qui permettent à l'agriculteur d'atteindre, ou d'approcher plus ou moins, chacun des dix objectifs suivants :

En surface :

- l'enfouissement des débris végétaux et des résidus superficiels.
- le réchauffement du sol
- la formation du lit de semences.
- l'incorporation des amendements et des fertilisants.
- le nivellement du sol.

En sous-sol :

- l'ameublissement de la couche arable.
- la répartition de la terre fine et des mottes.
- la correction de l'excès de porosité.
- l'ameublissement du sol au-dessous de la zone labourée.
- la maîtrise de la propagation des mauvaises herbes, des parasites et des maladies.

La succession et même les associations des opérations culturales sont déterminées en tenant compte à la fois, des actions spécifiques de chacune d'elles et des caractéristiques mécaniques du sol. Ces dernières telles que la cohésion, la plasticité, l'adhésivité du sol aux outils, compactibilité, sont étroitement liées à la texture du sol et à son humidité au moment de l'intervention. De ce fait, il est extrêmement difficile de définir à priori la succession d'opérations culturales optimales pour une culture donnée. Les possibilités de trouver le sol en bonnes conditions de travail sont suffisamment rares pour que se développent des techniques de non travail du sol, rendues possibles par les progrès réalisés dans le domaine de la conception de nouvelles machines et des herbicides. Tenant compte des objectifs du travail du sol, la connaissance des différents outils aratoires est nécessaire.

2.2. Présentation des techniques culturales pour la mise en place des céréales

Il existe une très grande diversité de techniques de travail du sol sans labour, c'est-à-dire sans retournement des premiers horizons du sol. Ainsi, on peut trouver tous les intermédiaires possibles depuis le labour au semis direct, en passant par le pseudo labour, le décompactage ou encore les TCS (techniques culturales simplifiées).

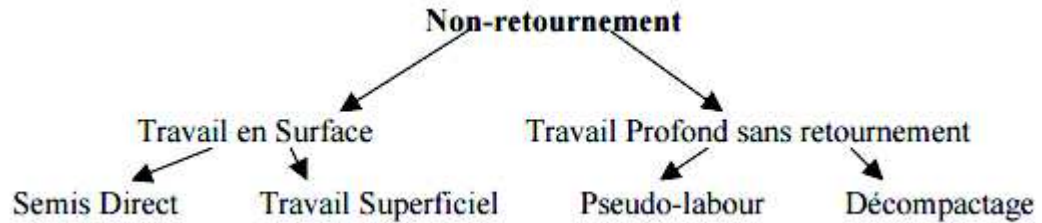
Avant de présenter les techniques culturales, nous commencerons par définir les nombreux termes impliqués dans ce sujet qui prêtent à confusion

TCS, TSL ou AC ?

La définition elle-même des TCS est souvent imparfaitement précise: il existe en effet de nombreux stades intermédiaires ou itinéraires techniques, entre le travail du sol incluant un labour classique et le semis-direct. Les termes existants sont nombreux et parfois redondants.

Les principaux termes qui peuvent prêter à confusion sont **TCS (Techniques Culturales Simplifiées)**, **TSL (Techniques Sans Labour)** et **AC (Agriculture de Conservation)**. Pour compliquer le tout, les termes anglophones sont également nombreux avec ‘**Conservation Tillage**’, ‘**Conservation Agriculture**’, ‘**Sustainable Agriculture**’, ou encore ‘**No-Till Agriculture**’. Nous allons redéfinir ici ces différents termes :

- **Techniques Culturales Simplifiées (TCS) et Techniques Sans Labour (TSL) (No-Till Agriculture) :** Techniques sans retournement du sol. Certains préfèrent utiliser le terme TSL car le terme TCS est souvent associé non seulement au non-retournement du sol, mais également à une couverture du sol. De plus, « **l'APAD, 2001** » vient d'ajouter à la confusion en changeant la signification de TCS à ‘Techniques de Conservation des Sols’. Enfin, si ce n'était pas suffisant, le terme ‘simplifiées’ prête à confusion car les TCS demandent au contraire des techniques et des connaissances plus pointues. Ces techniques sont diverses mais peuvent toutefois être classées en 4 groupes comme suit :



- **Semis direct** : Maintien d'un travail mécanique seulement sur la ligne de semis.
- **Travail superficiel** : Maintien d'un travail mécanique en dessous de la zone de semis sur une profondeur limitée selon les conditions du milieu (entre 5 et 10cm).
- **Pseudo-labour** : Le sol est travaillé au plus sur les 20 premiers cm, c'est à dire sur les horizons superficiels, sur l'ensemble de la surface.
- **Décompactage** : Fissuration du sol sans mélange des couches.
- **Agriculture de Conservation (AC) (Conservation Agriculture)** : Le terme « Agriculture de Conservation » (des sols) est le terme à employer internationalement. Sa définition a été retenue lors du "First World Congress on Conservation Agriculture : a world wide challenge" qui se déroulait à Madrid en octobre 2001.

Cette définition est la suivante :

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

En d'autre terme, l'agriculture de conservation a pour objectif de conserver, d'améliorer et de mieux utiliser les ressources naturelles liées à la gestion des sols, de l'eau, et de l'activité biologique (**Derpsch, 2001**). L'AC n'est pas un but en elle-même mais plutôt un concept : la gestion de la fertilité des sols est l'objectif final (ECAAF/FAO, 2001).

- **Conservation Tillage** : Les résidus de la récolte représentent au moins 30 % de la surface du sol. Le semis direct, les cultures sur billons et les cultures sous mulch appartiennent à cette catégorie.

- **Sustainable Agriculture (Agriculture Durable):** L'Agriculture Durable est un des aspects du Développement Durable. Selon **Girardin (1993)**, le concept couvert par « sustainable agriculture » dans les pays anglophones se traduirait plutôt par « agriculture intégrée » en Europe. La première définition de l'agriculture intégrée a été proposée en 1977 par des zoologistes et des agronomes à partir de leur expérience de lutte intégrée en vergers. Selon eux, l'agriculture intégrée est « un mode de production comportant la mise en œuvre des techniques les plus conformes à des exigences d'ordre économique et écologique dans la perspective d'optimiser la qualité des produits qui en sont issus » (anonyme, cité par **Girardin, 1993**).

Cette définition souligne 4 idées fortes correspondant à des modes de production

- Economiquement viables
- Respectueux de l'environnement et préservant les ressources naturelles
- Assurant la qualité des produits et limitant les risques pour la santé humaine
- Permettant une bonne intégration sociale des personnes intervenant dans le processus de production et de transformation.

2.2.1. Techniques de travail du sol profond

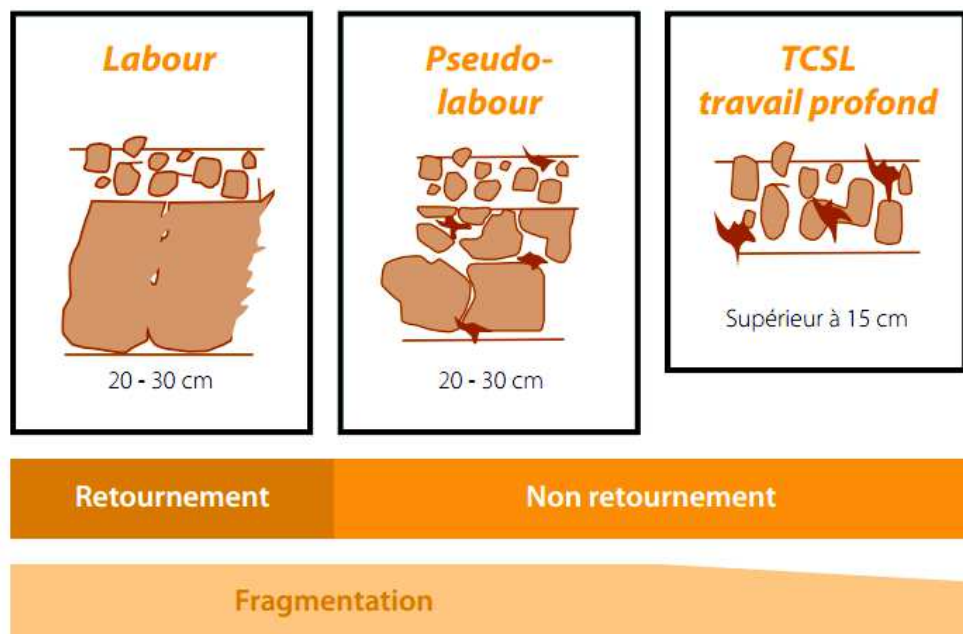


Figure 2.1: présentation des techniques culturales de profondeur

Source : **chambre d'agriculture de Bretagne (France), 2008**

Matériels utilisés		
La charrue	Cultivateur lourd	Chisel, Cover-crop
		
<p>Les itinéraires techniques sont basés sur l'usage de charrues à socs forcément associées à d'autres interventions.</p> <p>Opération de travail profond qui comporte un mélange et un retournement des couches de sol.</p>	<p>Plusieurs matériels sont possibles : cultivateurs lourds, chisel utilisé en profondeur...</p> <p>Opération de travail profond avec mélange des couches de sol mais sans retournement de celles-ci.</p>	<p>Les outils utilisés sont des lames droites ou obliques, équipées de différents types de socs.</p> <p>Opération de travail du sol sans retournement ni mélange. Cette opération restructure le sol par fissuration et fragmentation.</p>

2.2.2. Les techniques culturales superficielles

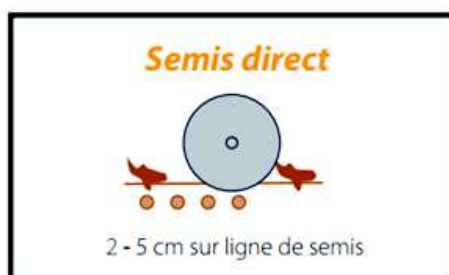


Figure 2.2: présentation des techniques culturales superficielles

Source : chambre d'agriculture de Bretagne (France), 2008

Matériels spécifiques	
Association de disques et de dents avec un semoir	Semoir de semis direct
	
<p>Les matériels spécifiques sont une combinaison d'outils de déchaumage, animés ou non, couplés à des semoirs, ce qui permet de réaliser plusieurs objectifs en un seul passage..</p> <p><i>Opération de travail du sol permettant l'incorporation des résidus dans la couche travaillée et l'affinement du lit de semences.</i></p>	<p>Les matériels de semis direct sont en général lourds afin de pénétrer le sol. Ils sont équipés de dispositifs permettant de travailler le sol sur la ligne de semis, à une profondeur allant de 2-3 cm à 10 cm. Ce sont toujours des matériels spécifiques.</p> <p><i>Système d'implantation des cultures qui repose sur un travail du sol localisé sur la ligne de semis, sans travail en profondeur.</i></p>

2.3. Place et importance des techniques culturales dans l'itinéraire technique

Tenant compte des objectifs cités ci-dessus, les techniques culturales occupent la première place dans l'itinéraire technique pour la mise en place des cultures d'une manière générale. Une mauvaise réalisation de la préparation du sol, entraîne plusieurs effets néfastes au développement du système racinaire, ce qui se répercute sur celui de la plante au cours de son cycle biologique.

Meynard et al, (1981) et Nolot, (1983) ont montré dans leurs travaux, qu'une forte proportion de zones compactes dans les premiers horizons de la couche arable pouvait diminuer l'absorption d'azote de 30 % environ, le nombre de grains par mètre carré et les rendements des céréales de 15 à 20 % environ. Ce phénomène est généralement associé à une faible densité racinaire dans ces horizons où la structure du sol est défavorable.

Par contre, dans le cas d'une porosité trop élevée, les échanges, entre les racines et le sol seront difficiles, ce qui affectera le développement de la plante dans son ensemble car les racines, en mauvais contact avec le sol, trouveraient des difficultés pour puiser les éléments nutritifs.

Au vu de ces remarques, la réalisation de ces opérations de préparation du sol doit faire l'objet d'une attention très particulière. L'importance de cette première étape de l'itinéraire technique pour la mise en place d'une culture, réside aussi au niveau du temps et du moment de sa réalisation et donc de la consommation en carburant. En effet, la réalisation des labours par exemple est conditionnée par les facteurs climatologiques, tel que la chute des premières pluies et surtout de intensités de celles-ci.

Nous remarquerons donc, que l'importance de cette première opération qui a fait l'objet de plusieurs travaux de recherche, est à prendre en considération pour la suite des travaux et des autres étapes pour l'installation d'une culture et particulièrement, pour les grandes cultures.

2.4. Aperçu historique et état actuel des techniques culturales simplifiées

Les premiers systèmes de culture en semis direct sont américains. Aux Etats-Unis, les années 1930 sont marquées par une crise économique et agricole majeure. Dans les Grandes Plaines, une mauvaise gestion agricole du sol, un travail du sol profond et répété,

concomitante à des épisodes de sécheresse entraîne des pertes de terres cultivées par érosion éolienne, le *Dust Bowl*.

Dès 1935, les pouvoirs publics prennent conscience de certains effets néfastes du labour et déclarent que l'érosion est une menace nationale (**Masutti, 2004**). Le gouvernement établit alors le *Soil Conservation Act*, instaure le *Soil Conservation Service* au sein de l'United States Department of Agriculture (USDA) et met en place des mesures de conservation du sol (**Masutti, 2004**). Parmi les solutions proposées émerge une technique culturale qui consiste à travailler le sol superficiellement pour y maintenir des résidus de récolte pendant la période d'interculture. Les fondements de l'agriculture de conservation sont établis : un travail minimal du sol et sa couverture permanente par un paillis végétal (**Derpsch, 2001**).

Dans les années 1960, la diffusion de l'herbicide total Paraquat et la construction de semoirs adaptés accélèrent l'essor de l'agriculture de conservation (**Capillon & Seguy, 2002**).

En 2000, plus de 35 % de la sole nationale est cultivée selon les principes de cette agriculture (**Magleby, 2002**). L'expérience nord-américaine s'étend hors des frontières du pays. La technique élaborée aux Etats-Unis se répand au Canada et surtout au Brésil qui connaît à la fin des années 1960 d'importants problèmes d'érosion hydrique (**Bernoux et al., 2006**). Comme les conditions pédoclimatiques du Brésil diffèrent fortement de celles des Etats-Unis, la recherche agronomique est sollicitée pour adapter la technique américaine au contexte brésilien et pour élaborer de nouvelles modalités de culture (**Capillon & Seguy, 2002**).

Historiquement, les premiers pas du Semis Direct (SD) dans les pays du Maghreb remontent aux années 1970-1980, lorsque des essais ont été réalisés par les structures de recherche publiques avec des semoirs américains (du type Tye) importés pour l'expérimentation. Cette approche semble avoir été abandonnée par la suite, sauf au niveau d'essais en station menés par l'INRA du Maroc.

Le véritable « démarrage » d'actions concrètes centrées sur une démarche d'Agriculture de Conservation (AC) se situe à la fin des années 1990 avec, d'une part, le programme de création du « prototype marocain » de semoir SD initié par l'INRA de Settat (Maroc), et d'autre part, le programme « Agro-écologie et Semis Direct » mis en place en Tunisie. Le début d'une véritable implication concrète des agriculteurs dans ces démarches remonte donc, globalement, à cette période. Du fait de sa présence au Maghreb depuis 1985,

en tant qu'ONG (organisation non gouvernementale) axée sur l'organisation professionnelle des agriculteurs, FERT (Association de coopération internationale pour le développement rural) a pu disposer d'une bonne connaissance du milieu agro-climatique et des problématiques rencontrées par les paysans algériens, marocains et tunisiens. Le Réseau Grandes Cultures Méditerranéen (RCM) animé par FERT depuis 15 ans a constitué, dans ce contexte, une plateforme de rencontres et d'échanges entre des structures de Recherche Agronomique et des Groupes Témoins d'Agriculteurs mis en place progressivement par le RCM dans ces pays. Son but a été de faciliter les relations entre ces partenaires afin d'apporter des réponses pratiques aux attentes technico-économiques des agriculteurs, qui sont généralement aussi des éleveurs d'ovins, et dont l'assolement est basé sur les céréales, les légumineuses et les fourrages.

A la fin des années 1990, les Groupes informels du réseau s'interrogeaient déjà sur leurs itinéraires techniques et leurs coûts de production, dans un contexte où les sécheresses se répétaient et où la rentabilité déjà limitée de leurs productions pouvait être remise en cause par la libéralisation du secteur céréalier. Ils se sont alors intéressés à ces « nouvelles approches » dont parlaient quelques chercheurs au Maghreb, et que pratiquaient déjà de nombreux agriculteurs de par le monde : abandon du labour, techniques culturales simplifiées (TCS) et semis direct ; des pistes à suivre pour répondre localement à des problèmes d'économie d'eau, d'érosion, de coûts de mécanisation...

2.5. Les Impacts Agronomiques, environnementaux et socio-économiques des Techniques Culturales Simplifiées par rapport au labour.

Le concept de Technique Culturelle Simplifiée met en jeu les interactions entre :

- Les techniques de travail au sol
- Les techniques de protection phytosanitaire
- Les systèmes de culture

A travers cette démarche, on arrive à une production et une protection intégrée.

2.5.1. Aspects agronomiques

Comportent l'influence sur l'état structural des horizons de surface : propriétés physiques et comportements mécaniques.

2.5.1.1. Impacts sur 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 (**Willson & Easley, 1992 ; Voss et al., 1998 ; 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.

2.5.1.2. Impacts sur les propriétés physiques du sol

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.

2.5.1.2.1. 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 (**Angers et al., 1993 ; Suwardji & Eberbach, 1998 ; Hernànz et al., 2002 ; Saber & Mrabet, 2002 ; 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 (**Ehlers et al., 1983 ; Hammel, 1989 ; Hill, 1990 ; Grant & Lafond, 1993 ; Rhoton et al., 1993 ; Unger & Jones, 1998 ; Lampurlanes & Cantero-Martinez, 2003 ; Basic et al., 2004 ; Feddal, 2011**). Généralement, une conséquence de la compaction du sol en semis direct est la pénétration plus difficile des racines dans le sol (**Ehlers et al., 1983 ; Hammel, 1989 ; Hill, 1990 ; Grant & Lafond, 1993 ; Ferreras et al., 2000**).

Tebrugge & During (1999) ; Feddal (2011) 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.

Il n'y a pas de modifications significatives de la porosité sous l'ancien fond de travail (**INRA 1994**). En revanche, la couche préalablement travaillée a une porosité qui diminue durant les premières années avant de se stabiliser. La baisse de la porosité totale après stabilisation est d'entre 5 et 10%, sauf pour la couche superficielle (de 0 à 5 cm) où l'activité biologique est plus intense. Ce tassement ne concerne que l'espace poral structural (résultant du travail du sol).

Dans les premiers centimètres de sol, la distribution de la taille des pores est modifiée en l'absence de travail du sol. La mésoporosité et/ou la macroporosité diminuent dans un sol en semis direct par rapport à un sol labouré (**Hill, 1990 ; Pierce et al., 1994 ; Hussain et al., 1998 ; Ferreras et al., 2000**) ; l'écart entre les deux situations culturales est particulièrement marqué après le travail du sol (**Pierce et al., 1994**). De manière analogue, **Guerif (1994)** montre qu'en semis direct, les pores structuraux sont moins nombreux, situés en surface et plus continus. Une meilleure continuité des pores en semis direct est aussi observée par **Heard et al. (1988)** et **Azooz & Arshad (1996)**. Concernant la microporosité, des études rapportent qu'elle est plus élevée en l'absence de travail du sol (**Pierce et al., 1994 ; Azooz & Arshad, 1996 ; Bhattacharyya et al., 2006**).

Après l'arrêt du labour, la proportion de pores créés par l'activité biologique, les biopores longs et cylindriques, diminue fortement puis augmente au cours du temps (**Shipitalo & Protz, 1987 ; Vanden 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 sol donc le 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 ; Ferreras et al., 2000 ; Baumhardt & Jones, 2002 ; Bhattacharyya et al., 2006 ; Feddal, 2011**) du fait de la modification de l'espace poral mais aussi du fait de la présence des résidus en surface qui réduisent l'évaporation (**Munawar et al., 1990 ; Guerif, 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 (Miller et al., 1998 ; Arshad et al., 1999), similaire (Blanco-Canqui et al., 2004 ; Fuentes et al., 2004) ou diminuée (Ferrerias et al., 2000 ; Lampurlanes & Cantero-Martinez, 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 macro pores sont créés juste après le labour ce qui améliore temporairement la vitesse d'infiltration de l'eau (Lin et al., 1999 ; Coquet et al., 2005) mais l'action mécanique de la charrue peut détruire la continuité des bio pores formés pendant le cycle cultural précédent (Logsdon et al., 1993). A l'inverse, la réduction du nombre de méso- et macro pores 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).

Pour ce qui est de la portance du sol, l'absence de fragmentation des horizons superficiels en non-labour augmente considérablement la portance du sol et les jours disponibles. Il ne faut toutefois pas mettre une pression trop grande sur le sol, au risque de niveler la surface.

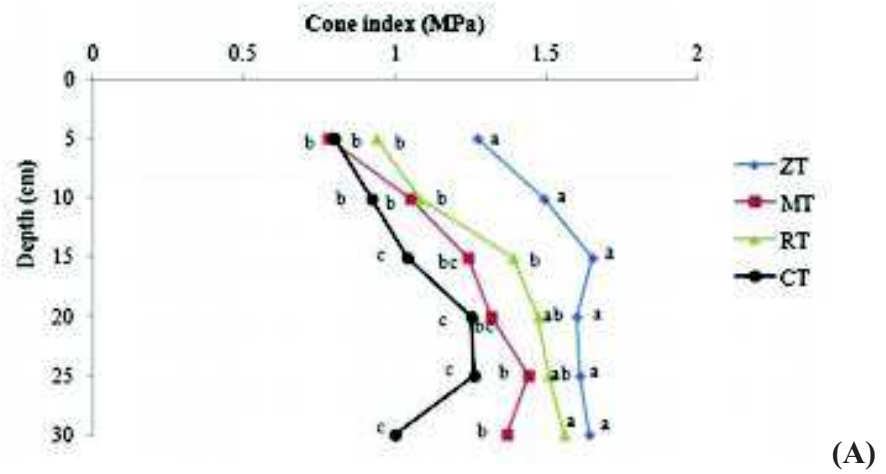
2.5.1.2.2. Effets sur la résistance pénétrométrique

La résistance à la pénétration est une mesure indirecte de la résistance du sol au cisaillement (Osunbitan et al., 2005). Selon plusieurs auteurs, La résistance pénétrométrique du sol doit être mesurée avec la masse volumique apparente et l'humidité du sol car ces facteurs affectent significativement résistance à la pénétration (Unger et Jones, 1998).

Haytham M. Salem et al, 2014, ont montré après une étude comparative qu'il y avait une différence significative pour la résistance pénétrométrique entre le semis direct et d'autres traitements de travail du sol tel que le travail conventionnel et le travail minimum du sol, sauf dans les couches profondes dans les mesures prise au moment de la récolte.

D'autre part, selon les mêmes auteurs, les mesures effectuées au stade croissance de la plante ont montré que la différence entre le travail conventionnel et le travail minimum n'était pas significative dans les couches de 0-10 cm. Pour la profondeur 20 à 30 cm, ces mêmes auteurs affirment que les sols menés en semis direct présentent des résistances pénétrométriques élevées alors que les sols travaillés avec la charrue présentent les résistances

les plus faibles. Ces résultats sont en concordance avec ceux de Afzalnia et Zabihi, 2014; Taser et Metinoglu, 2005.



Avec :

ZT : zero tillage (zero travail du sol)

MT : minimum tillage (minimum travail du sol)

RT : travail du sol irrigué

CT : conventionnel tillage (travail du sol classique)

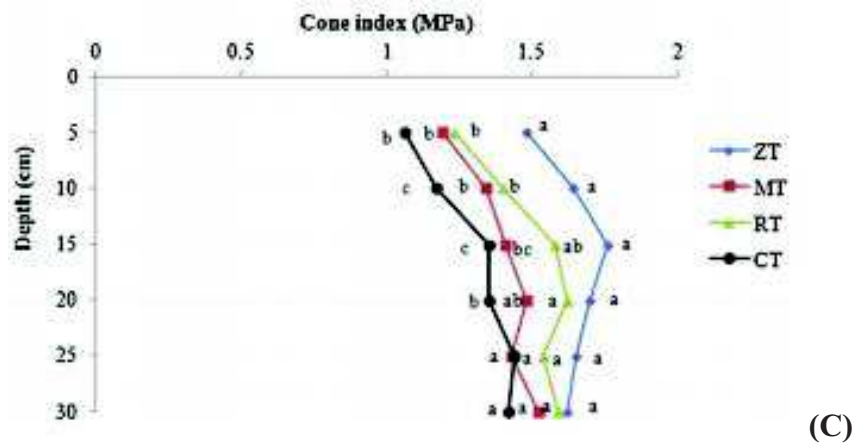
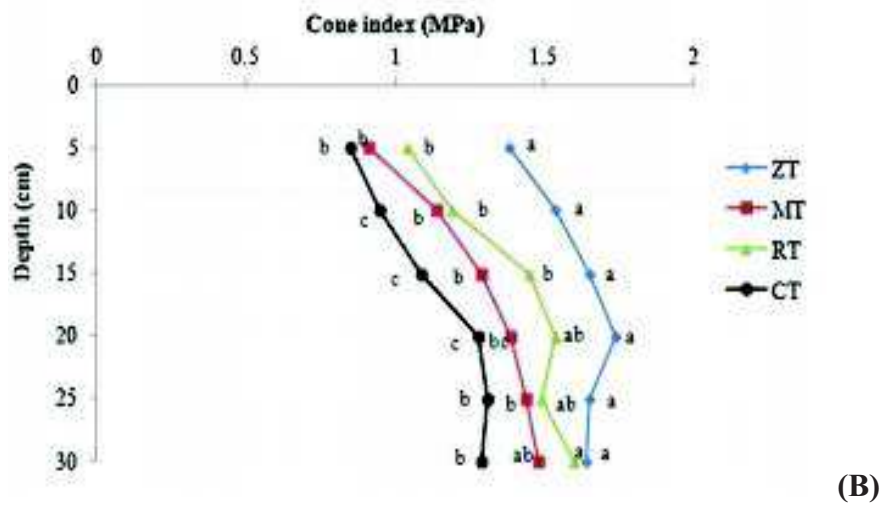


Figure 2.3 : effet des techniques culturales sur la résistance pénétrométrique

(A) Stade semis. (B) : stade de croissance. (C) : récolte.

Source : Haytham M. Salem et al, 2014

La mesure de résistance à l'enfoncement peut également permettre d'évaluer l'impact des différents types de pratiques culturales. Selon l'étude de **Hilfiker et al. (1984)**, la Résistance pénétrométrique semble plus importante lorsque le travail du sol est conventionnel (labour) que pour toute autre pratique culturale. Il faut cependant remarquer que les mesures ont été prises dans un champ de maïs entre les rangées, au niveau des traces de roues. D'autres études montrent que le labour entraîne plutôt une diminution de la Résistance pénétrométrique (**O'Sullivan et al., 1987**). Il est donc très important de noter toutes les conditions qui entourent la prise des données (texture, période de l'année, type de culture, position spatiale, humidité, etc. Remarquons également que pour une faible profondeur de l'ordre de 5cm, la Résistance pénétrométrique est la même quel que soit le type de travail du sol. Il faut cependant interpréter avec prudence les mesures de Rp prises en surface car celles-ci sont généralement plus variables que celles prises en profondeur.

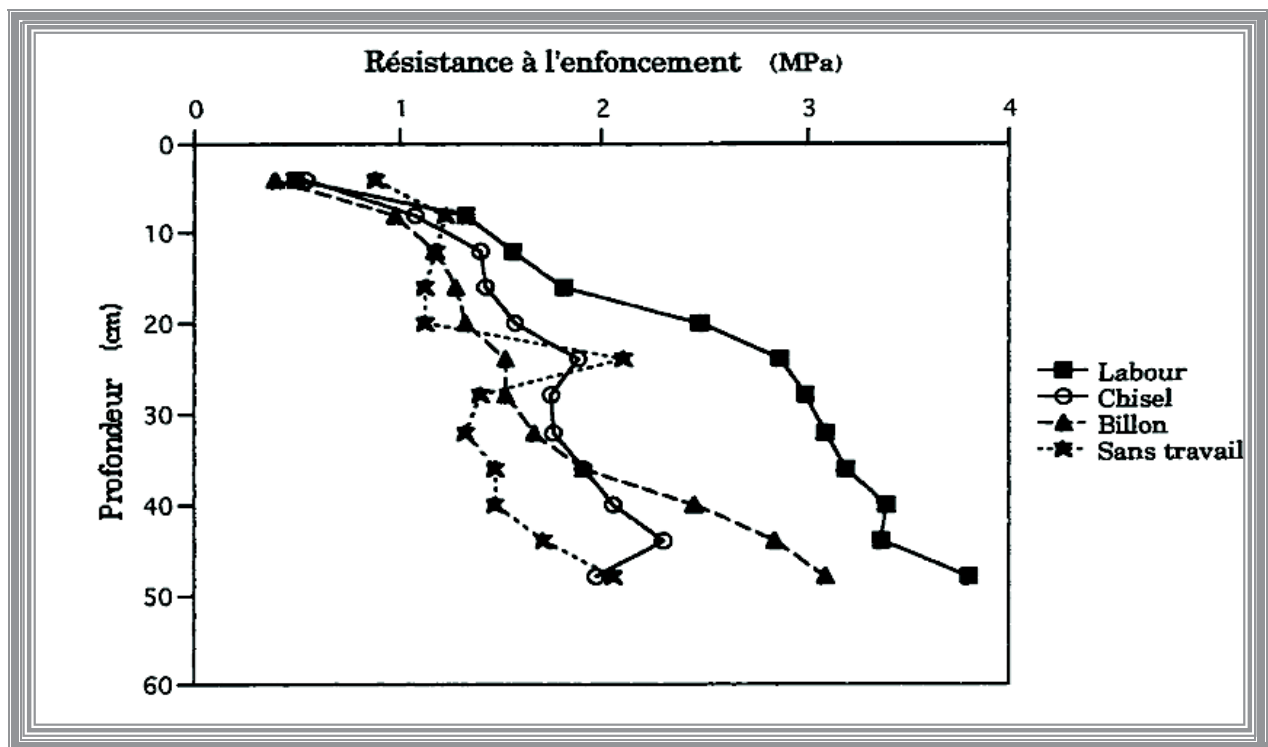


Figure 2.4 : Valeur moyenne de résistance pénétrométrique selon la profondeur et en fonction du type de travail du sol sur un limono sableux (valeurs obtenues au niveau des traces laissées par les roues). La résistance pénétrométrique (en MPa)

Source: **Hilfiker et al. (1984)**.

AMARA et al. (2007), ont réalisés des travaux dans ce contexte, ainsi leurs travaux ont porté sur l'effet de la profondeur du travail du sol sur le développement des racines d'une céréale blé et les conséquences sur le rendement de la culture.

Les essais ont montré que la parcelle ayant subi un sous-solage à une profondeur de 0,50 m présente une résistance pénétrométrique inférieure à celle obtenue sur la parcelle labourée à 0,27 m. et que sur cette dernière, la résistance pénétrométrique augmente, après les pseudo labours et travaux superficiels, jusqu'à une valeur de 13,24 daN/cm² au niveau de la profondeur de 0,13 m. Le développement des racines a été meilleur au niveau de la parcelle travaillée en profondeur.

Les conséquences du développement des racines s'est illustré par un rendement de 27,87 quintaux à l'hectare sur la parcelle travaillée à une profondeur de 0,50 mètres, qui est supérieur à celui obtenu sur la parcelle travaillée à 0,27 mètres et qui n'est que de 22,36 quintaux à l'hectare, soit une différence de 5,51 quintaux à l'hectare, ce qui n'est pas négligeable.

2.5.1.3. impacts des techniques culturales sur le développement des mauvaises herbes

Le semis direct favorise le développement des graminées annuelles et des adventices vivaces (**El Titi, 2003 ; 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, 2003**). La plus grande prolifération des adventices en semis direct peut accroître les charges opérationnelles liées aux herbicides (**Debaeke & Orlando, 1994 ; El Titi, 2003**).

Rahali A ; Makhoul M ; Benkherbache N.(2011) ont étudiés Influence de l'itinéraire technique sur le stock semencier de mauvaises herbes de la zone semi-aride de Sétif, et ils ont constaté que le stock semencier le plus faible est dans l'horizon 15-30 cm de la parcelle conduite en semis direct avec 2800 grains/m² et la densité la plus élevée est de l'ordre de 7900 grains/m², pour le travail conventionnel. Dans ce même contexte, les mêmes auteurs rapportent que les différents types de travail du sol ont un impact sur la distribution verticale des semences de mauvaises herbes dans le profil du sol ; après le labour ils ont observé une localisation préférentielle des semences entre 10 et 20 cm de profondeur. Les différences observées sont en fonction de la profondeur de sol et la taille des semences.

Selon les mêmes auteurs, dans le cas des techniques simplifiées, la localisation des semences devient de plus en plus superficielle avec le temps, notamment si le désherbage est imparfait ; l'essentiel des semences se trouve entre 0 et 10cm. Le nombre d'espèces présentes varie selon la technique culturale. Les figures suivantes illustrent l'estimation du stock semencier établi par ces mêmes auteurs ;

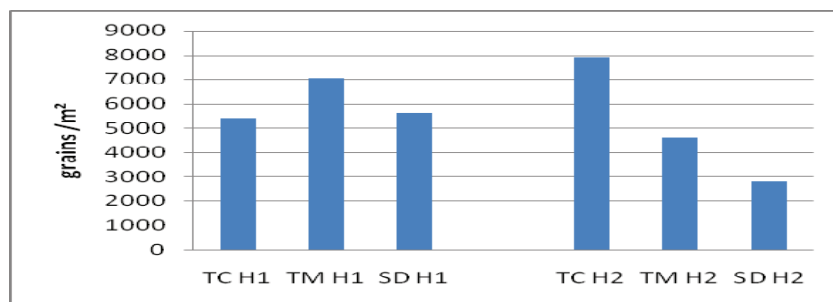


Figure 2.5 : Stocks semenciers présents dans les deux horizons de l'essai (0-15 cm) et (15-30cm)

Pour ce qui est de l'effet des techniques culturales sur la densité de peuplement adventice, **Rahali A ; Makhlouf M ; Benkherbache N.(2011)** affirment qu'il y a un effet très hautement significatif des techniques culturales soit sur les adventices monocotylédones, les dicotylédones ou le nombre total des adventices par mètre carré. La comparaison des moyennes du nombre total des adventices a donné trois groupes homogènes distincts et une moyenne générale de 78 plants/m². La densité la plus faible est marquée chez le travail conventionnel avec 36 plants/m², 88 plants/m² pour le semis direct et 110 plants/m² pour le travail minimum, et c'est la densité la plus élevée. Ils ont observé aussi une dominance totale d'adventices monocotylédones dans les parcelles de semis direct avec un nombre moyen de 57 plants/m² contre une dominance des espèces dicotylédones dans les parcelles de travail minimum avec un nombre moyen de 70 plants/m².

D'autres auteurs tel que **Jauzein (1986)** affirme que la conséquence principale du travail du sol est la remontée en surface des semences enfouies par des travaux antérieurs, cependant les facteurs édapho-climatiques, tels que l'humidité du sol, la lumière et la température, favorisent la germination des mauvaises herbes. Les résultantes des exigences des semences (essentiellement thermiques), d'une part, et du cycle climatique annuel d'autre part, entraînent une régularité chronologique d'apparition de telle ou telle espèce (**Montegut, 1975**). Les levées de graminées annuelles ont tendance à augmenter avec la simplification du travail du sol ; le phénomène est amplifié par la pratique de la monoculture de céréales (**Caussan, 1987 cités par Debaeke et Orlando, 1994**). Les repousses de céréales sont bien évidemment favorisées par les systèmes simplifiés, en particulier lors de semis précoces (**Debaeke et Orlando, 1994**). Par ailleurs et d'après **FROUD-Williams et al. (1983)**, les levées des dicotylédones annuelles diminuent avec la simplification du travail du sol.

Pour ce qui est de **l'effet des techniques culturales sur la biomasse des adventices**, **Rahali A ; Makhlouf M ; Benkherbache N.(2011)** ont trouvé que les parcelles menées en travail minimum sont richement envahies par les mauvaises herbes dont la biomasse est de 0,219 kg/m², le travail conventionnel a présenté une biomasse de mauvaises herbes très faible égale à 0,077 kg/m² et le semis direct 0,133 kg/m².

La reproductibilité des systèmes sans labour est donc difficilement envisageable sans un renforcement des traitements herbicides, ce qui augmente les charges associées, même si les économies sur les charges de mécanisation sont plus importantes. La dépendance vis-à-vis des herbicides introduit des risques pour la culture et l'environnement : efficacité irrégulière, apparition de résistances, absence de solution technique satisfaisante, risques de phytotoxicité.

La gestion du désherbage chimique et mécanique va jouer un rôle important sur l'évolution du stock d'adventices, particulièrement en techniques de conservation des sols. De nombreux agriculteurs pratiquent le déchaumage afin de proposer des conditions favorables de germination à l'interculture et donc de diminuer le stock semencier d'adventices.

2.5.1.4. Impacts des techniques culturales sur l'évolution des maladies

L'influence des TCS sur les maladies cryptogamiques dépend de la maladie considérée. D'après **Colbach (1996)**, la pression du piétin échaudage et du piétin verse dépend largement des successions culturales et donc de la fréquence de retour de la culture hôte plutôt que des techniques de travail du sol. Pour **l'ITCF** également, la pression du piétin échaudage est peu modifiée par les techniques de travail du sol. Le piétin verse diminuerait en technique de non-labour. En revanche, le non-labour accentuerait légèrement la présence de fusarioses et de septorioses. Ainsi, les risques de maladies augmentent avec un retour fréquent d'une des cultures hôtes du champignon. C'est pourquoi, il est recommandé d'avoir des successions culturales longues et variées au niveau des cultures utilisées.

Nous pouvons conclure que la succession culturale a autant d'influence que les techniques de travail du sol. Par contre, conjuguées à d'autres facteurs de risque (choix variétal, semis précoces, variétés sensibles, mauvais contrôle chimique, présence de matières

organiques, monoculture), les TCS demandent beaucoup plus de vigilance et de rigueur de la part de l'agriculteur.

2.5.1.5. Impacts des techniques culturales sur le rendement des cultures

Dans l'ensemble, les rendements sont peu affectés par la simplification du travail du sol sous réserve que le profil présente un drainage général satisfaisant (**J. Labreuche**). Le rendement dépend également de la fréquence des opérations dégradantes (implantations et récoltes) et il est important de prendre en compte la persistance des herbicides utilisés et leurs impacts sur la culture suivante. Les espèces sensibles aux états structuraux tels que le maïs présente plus de risques de perte de rendement que les moins sensibles (céréales d'hiver par exemple) (**Fleury, 1982**). L'occurrence d'excès d'eau pour des raisons climatiques ou de capacité réduite de drainage du profil entraîne des risques de perte de rendement.

2.5.2. Aspects environnementaux

2.5.2.1. Incidence sur le comportement des produits phytosanitaires et risques de pollution.

La simplification du travail du sol provoque une augmentation de la matière organique et de la biomasse microbienne à la surface du sol, ce qui augmente l'adsorption et la dégradation de la plupart des pesticides arrivant au sol, donc les herbicides racinaires ont moins d'efficacité et les pertes par lixiviation diminuent. Les résidus de récolte interceptent les pesticides en solution ou en poudres mouillables (**jusqu'à 60%, Ghadiri et al., 1984**), ce qui induit une perte d'efficacité de ces pesticides de traitements des sols. Les formulations les mieux adaptées sont les granulés et les micros encapsulés. En conséquence, les quantités d'herbicides apportées en travail simplifié augmentent de 15 à 60% (variant selon les auteurs et les conditions).

Le non-labour tend à acidifier les horizons de surface à cause de l'accumulation de matière organique et d'éléments fertilisants, spécialement azotés (**Dalal et al, 1991 et autres**). Cette diminution du pH (jusqu'à 1 unité) du sol en non-labour augmente la dégradation chimique et l'adsorption de certains pesticides, car l'acidification favorise l'implantation des champignons qui sont plus efficaces dans la dégradation des pesticides adsorbés et présente une grande capacité de bioaccumulation. Les pesticides étant plus adsorbés, la persistance des pesticides est augmentée, ce qui engendre des risques de phytotoxicité. Ainsi, la persistance et l'adsorption sont les deux facteurs qui conditionnent le plus le comportement des pesticides

dans les sols et en particulier leur transport en profondeur. D'autres facteurs rentrent cependant en compte comme la topographie et l'existence de nappes de surface.

Il est à noter que si on observe une augmentation de la biodégradation à la surface des sols en travail simplifié, elle est ralentie dès que le pesticide migre en profondeur (**Isensee et al., 1990**).

L'augmentation de l'humidité du sol (optimum entre 60 et 100% selon les auteurs mais 60% semble plus accepté) en surface augmente la dégradation biologique mais la diminution de la température du sol (variant entre 1 et 10°C et avec un optimum entre 25 et 30°C) la diminue.

Pour ce qui est du ruissellement, la période la plus sensible pour le ruissellement des pesticides se situe juste après leur application. Les facteurs les plus importants sont donc le laps de temps entre l'application et la pluie, et l'intensité de la pluie.

L'interaction entre les modalités de travail du sol et le comportement des produits phytosanitaires (efficacité, devenir des résidus liés, lessivage...) reste à approfondir. Il semblerait que les pertes de produits vers les nappes sont similaires ou supérieures sous travail simplifié, mais les effets de l'utilisation accrue d'herbicides en terrains de non-labour reste à étudier, tout comme la possibilité d'augmenter les luttes biologiques (IPM) dans ces terrains. En tous les cas, pour évaluer l'incidence potentielle des contaminants du sol, il convient de tenir compte non seulement de leur concentration, mais aussi de leur comportement environnemental et du mécanisme d'exposition pour la santé humaine. Les pesticides sont des composés toxiques délibérément introduits dans l'environnement pour lutter contre des organismes nuisibles et des maladies. Ils peuvent s'accumuler dans le sol, s'infiltrer dans les eaux souterraines et s'évaporer dans l'air, à partir duquel un nouveau dépôt sur le sol peut avoir lieu. Ils peuvent également porter atteinte à la biodiversité du sol et entrer dans la chaîne alimentaire. En 1998, 321 386 tonnes de produits actifs de pesticides ont été vendues dans les 15 Etats membres de l'UE (**CCE, 2002**).

2.5.2.2. La gestion de l'eau en non-labour

En non-labour, la gestion de l'eau est meilleure. En effet, dans un climat sec, le sol est plus humide grâce à la limitation de l'évaporation par les résidus de récolte, la plus grande porosité et la matière organique plus importante. Dans un climat humide, la plus grande facilité d'infiltration et de drainage permet un retour de l'eau au champ plus rapide. A plus

grande échelle, cela pourrait réduire les risques d'inondations en régulant mieux les flux dans les rivières. L'utilisation et la préservation des ressources en eau en termes de qualité et de quantité sont donc améliorées en agriculture de conservation (**Guedez, 2001**).

2.5.2.3. Impacts sur le changement climatique, la pollution atmosphérique et les énergies fossiles

Il est aujourd'hui largement admis que l'augmentation de la concentration atmosphérique en gaz à effet de serre contribue au processus de réchauffement climatique. L'agriculture serait responsable de 30% des émissions des gaz à effet de serre dans le monde, dont 25% des émissions de CO₂ et 70% des émissions de NO₂ (**FAO, 2001**).

L'agriculture participe à l'effet de serre à deux niveaux : comme émettrice de gaz à effet de serre (GES) et comme puits de carbone. En effet, de nombreuses activités agricoles agissent sur le stockage ou les émissions de gaz à effet de serre (**Agu et al, 2000**) : travail du sol, gestion des intrants, combustion d'énergie fossile liée aux machines, élevages et gestion des déjections animales...

La réduction de l'utilisation de machines (**INRA, 2001**) résulte dans une réduction importante de la consommation d'essence et d'huile, et donc dans une protection des réserves en énergies non renouvelables (hydrocarbures). CTIC estime à 33l/ha la réduction en essence entre le labourage et le non-labourage tandis que AIGACOS considère que la consommation d'énergie en agriculture est réduite de 15% à 50% (**Guedez, 2001**). Grâce à la réduction du travail mécanique et de la consommation d'énergie, le non-labour sauvegarde des combustibles fossiles et réduit donc les émissions de CO₂ et CO (et donc de CH₄, directement lié) des tracteurs (**Guedez, 2001**).

Le non-labour agit également comme réservoir de carbone car ses sols sont plus riches en matière organique et carbone pris par les plantes à l'atmosphère. Cela limite donc l'effet de serre (**Guedez, 2001**). Cette réduction est toutefois à relativiser. En effet, selon **Smith et al.**, une conversion à 100% à l'agriculture de non-labour séquestrerait environs 23 Tg C/ an dans l'Union Européenne ou environs 43 Tg C /an dans toute l'Europe (excepté l'ancienne Union Soviétique). De plus, jusqu'à 3.2 Tg C/an pourrait être sauvé en émission d'énergies fossiles. Comparée aux estimations du potentiel de séquestration de carbone pour d'autres options, l'agriculture en non-labour montre un potentiel presque deux fois supérieur aux scénarios ou

les sols ont un amendement de matières organiques. Les calculs montrent qu'une 11 reconversion de 100% à l'agriculture en non-labour réduiraient toutes les émissions de carbone d'énergies fossiles en Europe. En revanche, cela équivaut à environ 4.1% des émissions anthropogéniques totales de CO₂ produites annuellement en Europe (excluant l'ancienne Union Soviétique), ce qui équivaut à environ 0.8% des émissions anthropogéniques mondiales annuelles (**Smith, Powlson, Glendining & Smith, 1998**).

La prise de conscience de l'importance des émissions de gaz à effet de serre en agriculture et du potentiel de sa réduction par les pratiques agricoles est récente. De nombreuses études ont été menées en ce qui concerne le dioxyde de carbone, mais relativement peu d'études ont étudié l'ensemble des gaz à effet de serre. Selon **Michel Robert de l'INRA (2001)**, si des bénéfices existent, certains problèmes également; le plus souvent, une balance environnementale et une évaluation économique manquent. Les émissions de NO₂ pourraient être augmentées par les techniques de conservation mais peu de données sont disponibles dans ce domaine et les avis ne sont pas unanimes (**Guedez, 2002; Robert, 2001; Seysen, 2001**). De même, en ce qui concerne les émissions de méthane (CH₄), peu d'études ont été réalisées à ce jour.

La réduction du travail mécanique et de la consommation d'énergie implique une réduction des particules émises durant le labour, ce qui résulte en une réduction de la pollution de l'air. La réduction du travail mécanique a également pour conséquence une réduction des émissions de SO₂ par les moteurs, réduisant ainsi de façon minime l'impact sur l'acidification de l'atmosphère, et donc les pluies acides.

2.5.3. Aspects socio-économiques

Selon **Rieu, 2001**, les répercussions économiques de l'introduction de la simplification du travail du sol sont toujours spécifiques de l'exploitation concernée et nous nous interdisons toute généralisation chiffrée. Nous verrons toutefois ici les tendances.

2.5.3.1. Les coûts de production et l'équipement.

La simplification du travail du sol passe souvent par l'investissement dans un ou plusieurs outils spécialisés pour le non-labour. Ainsi, les charges de capital à court terme (au changement de système) augmentent, mais après plusieurs années, le capital investi par hectare diminue. Dans tous les cas, les exploitations qui ont les charges de mécanisation les plus faibles sont celles qui optimisent leur parc matériel soit en le partageant avec un ou

plusieurs voisins (copropriété, entraide, coopératives, entreprise), soit en amortissant leur investissement en augmentant la surface travaillée, réduisant la main d'œuvre ou en s'engageant dans une autre activité extra-agricole (INRA, 2001 ; Salitot, 2001).

La diminution des coûts dépend surtout de si l'agriculteur profite du gain de temps pour augmenter la surface travaillée, réduire la main d'œuvre ou faire une autre activité extra agricole (INRA, 2001).

Les charges directes de mécanisation (fuel, entretien réparation, outils) sont réduites, mais celles concernant les intrants (semences, herbicides, fertilisants...) sont augmentées. Ainsi, Gilet (2001) estime qu'en non labour, l'investissement dans le désherbage en culture va du simple au double. Enfin, pour des sols usants ou caillouteux, la réduction des charges de mécanisation est encore plus importante, augmentant l'attrait des TCS sur ces terres.

2.5.3.2. L'organisation et le temps de travail

Pour les grandes cultures, le temps de traction peut se situer entre 7heures/ha alors qu'il est d'environ 3.5heures/ha en non-labour (INRA, 2001). En théorie, l'agriculteur peut donc doubler la surface travaillée. Le gain de temps dépend, par contre, des outils utilisés et si un travail superficiel est fait. De plus, le non-labour engendre une réduction des temps de travaux mais implique cependant une grande disponibilité de la main d'œuvre. En effet, pour réaliser un lit de semence de qualité, le travail doit être effectué en conditions optimales (Husson, 1997). C'est ce qui fait dire à beaucoup d'experts que l'agriculteur en non-labour passe moins de temps au travail mais plus à regarder son champ et à se soucier des aspects pédo-climatiques.

2.5.3.3. Le coût social

Le gain de temps en non-labour et l'amélioration du niveau de vie ne doit pas faire oublier les coûts associés à ces pratiques. En effet, si l'agriculteur peut doubler sa surface travaillée, cela engendrera irrémédiablement une diminution du nombre d'agriculteurs. Ainsi, des agriculteurs disparaîtront au profit de ceux qui s'élargiront afin de faire face à la concurrence grandissante.

Conclusion

Les Techniques Culturelles Simplifiées (TCS) sont des techniques de travail superficiel du sol. Les outils utilisés ne travaillent le sol qu'à faible profondeur. Ceci permet de

déchaumer, préparer le lit de semences et désherber mécaniquement tout en conservant au maximum la structure du sol. On peut cependant aller encore plus loin en supprimant totalement tout travail de sol et en gardant en permanence un couvert végétal : c'est le semis direct sous couvert (SCV). Dans ce cas-là, les semis sont réalisés directement dans les résidus de la culture précédente ou ceux de l'interculture (ou couvert végétal). On utilise pour cela des semoirs adaptés qui ouvre un sillon dans la végétation pour pouvoir disposer les graines au contact direct du sol.

Les problèmes liés au labour comme l'érosion des sols ont conduit l'introduction des nouvelles techniques culturales comme le semis direct, mais ce dernier on lui reproche à lui aussi des problèmes tel que l'infestation en mauvaises herbes.

D'après les études des auteurs présentées, on a pu conclure que les techniques culturales allant du travail du sol classique au semis direct, ont des impacts sur les propriétés physiques et mécaniques du sol, sur le développement racinaire de la culture et son rendement ainsi que sur le développement des mauvaises herbes, reste à savoir s'ils ont un effet sur le développement racinaire de la plante, et c'est ce qu'on tentera de savoir au prochain chapitre qui portera sur l'impact de l'état structural du sol sur le développement des racines.

Chapitre 3.

Effet de l'état structural du sol sur le développement racinaire

Introduction

Si le paramètre développement racinaire n'est pas une composante du rendement, il influe fortement son élaboration du fait de l'intime corrélation entre le fonctionnement des racines et le poids des grains que l'on retrouve dans la formule du rendement. Il représente également un facteur de choix pour caractériser l'état du sol et un indicateur important du développement de la culture.

Un des rôles essentiels du travail du sol est de faciliter la croissance des racines dans un milieu contraignant, pour cela, le travail du sol permet souvent de diminuer la résistance mécanique du sol à la pénétration des racines à travers une amélioration de sa structure et par conséquent, de son humidité. Il améliore aussi l'aération du sol, facilitant les échanges gazeux au niveau de la racine. Le bon développement racinaire des cultures est le garant non seulement de leur productivité mais surtout de leur tolérance aux aléas climatiques. **(Maertens et Al, In Chopart, 2001).**

Dans ce chapitre, il s'agit d'analyser les travaux réalisés montrant l'étroite relation entre l'état structural du sol et le développement racinaire, et l'effet indirect des techniques culturales sur la croissance racinaire.

Plusieurs aspects pouvant affecté le développement des racines seront abordés dans ce chapitre, afin de mieux raisonner le choix des techniques culturales et des outils susceptibles de réaliser le profil adéquat au développement racinaire dans la mesure où cela s'avérera nécessaire

3.1. Influence des facteurs physico- mécaniques du sol sur le développement racinaire

La résistance mécanique des sols à la pénétration et les voies de circulation préférentielles pour la progression des racines dépendent de différentes caractéristiques du sol dont les principales sont: la texture, la porosité, la structure et la stabilité structurale, mais aussi l'humidité du sol qui se trouve variable dans le temps et l'espace.

3.1.1. Effet de la texture du sol

La texture du sol influence l'enracinement des plantes. Il est généralement admis que la croissance des racines est favorisée par une texture grossière **(Maury et Rivoire, 1963 In Callot et al 1988)**. Comme on peut le voir sur la figure ci-dessous où sont comparés des enracinements de fléole (*Phieum pratense* L.), dans deux sols de texture différente mais de

même porosité (40%): un sol à texture limoneuse (10% d'argile et 40% d'éléments inférieurs à 50 μ) et un sol à texture grossière (5% d'argile et 41% d'éléments supérieurs à 200 μ), l'un et l'autre à plusieurs niveaux de richesse en éléments nutritifs.

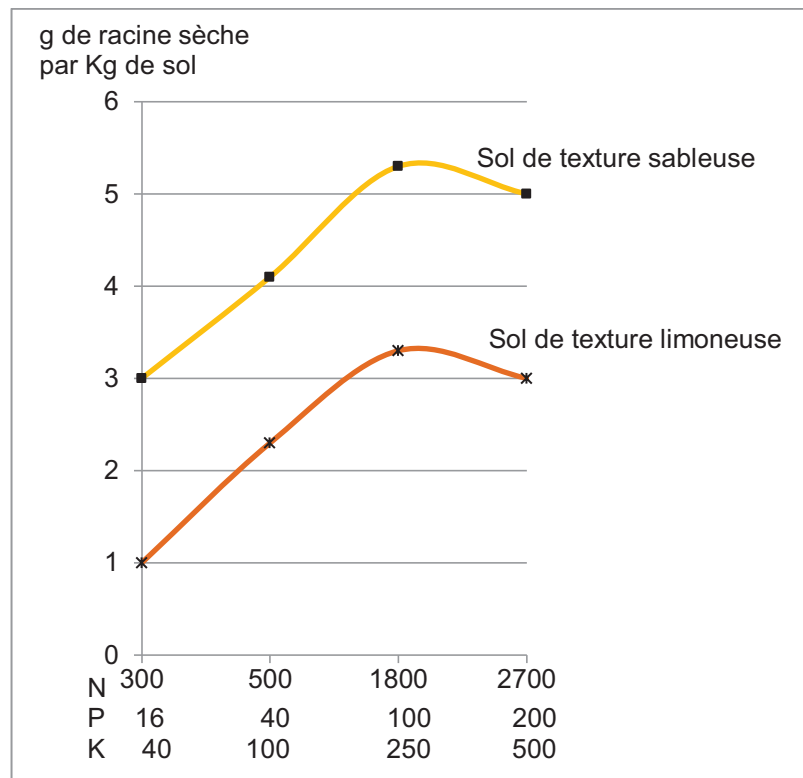


Figure 3.1 : Production comparative de matière sèche de racines selon la texture et le pouvoir alimentaire du sol (cas de la fléole).

Source : **Callot et al (1988)**

On constate que pour les mêmes concentrations en éléments N, P et K l'enracinement est nettement plus abondant dans le sol sableux que dans le sol limoneux. L'enrichissement en éléments ne modifie pas sensiblement les rapports entre les enracinement dans ces mêmes milieux.

Par ailleurs, des observations sur le blé ont permis de constater que l'influence de la texture ne s'exerce pas seulement sur l'élongation des racines, mais également sur la rhizogénèse, c'est-à-dire l'émission des racines qui influence bien entendu la longueur totale

du système racinaire de jeunes plants de blé. En début de tallage, l'élongation des racines principales et secondaires est favorisée par une texture sableuse (voir tableau).

Tableau 3.1: Caractérisation de l'enracinement d'un plan de blé au tallage dans trois sols de texture différente (unité de mesure en mm).

Interprétation	Argile (terrefort) (1)	Limon (boulbène) (2)	Sable
Racines séminales et adventives :			
Nombre.....	8	8	10
Longueur moyenne.....	42	127	129
Longueur totale.....	340	1021	1290
Diamètre moyen.....	0.48	0.48	0.34
Surface totale en mm ²	510	1500	1380
Racines secondaires			
Nombre.....	181	638	941
Longueur moyenne.....	10.2	12.8	17
Longueur totale.....	960	7200	16000
Diamètre moyen.....	0.30	0.22	0.20
Surface totale en mm ²	904	5000	10080
Racines tertiaires			
Nombre.....	697	1065	320
Longueur moyenne.....	1.74	1.9	1.49
Longueur totale.....	1220	2100	477

Diamètre moyen.....	0.24	0.17	0.12
Surface totale en mm ²	913	1100	176
Enracinement			
Longueur totale.....	2520	10300	17466
Surface totale en mm ²	2329	7600	11636

Source: **Marty (1968) In Callot et Al (1988)**

(1) Terrefort: sol brun argilo- calcaire (25 à 35% d'argile)

(2) Boulbène : sol très évolué limono- sableux à sable fin

L'influence de la texture est encore beaucoup plus marquée sur la rhizogénèse, le nombre des racines secondaires est cinq fois plus important dans le sol sableux que dans le sol argileux; pour la texture limoneuse, le comportement de l'enracinement est intermédiaire, il se rapproche toutefois d'avantage de celui qu'on observe dans le sable. Les écarts de surface qui résultent de ces différences de ramification sont très importants, ce qui influe sur la surface de contact milieu- plante et sur l'intensité de colonisation du sol, donc du niveau de nutrition des plantes.

La texture modifie également la morphologie des racines, notamment au niveau des poils absorbants. Dans le sable, la quantité de poils absorbants est beaucoup plus importante que dans l'argile ou le limon. On peut également remarquer que la disposition des poils sur la racine est variable selon la texture. Dans le sable, ces poils sont longs et disposés perpendiculairement à la racine, ils prospectent ainsi un volume de sol plus important que dans le limon ou dans l'argile où ils sont plus courts et plus tangents à la racine (figure 3.2).

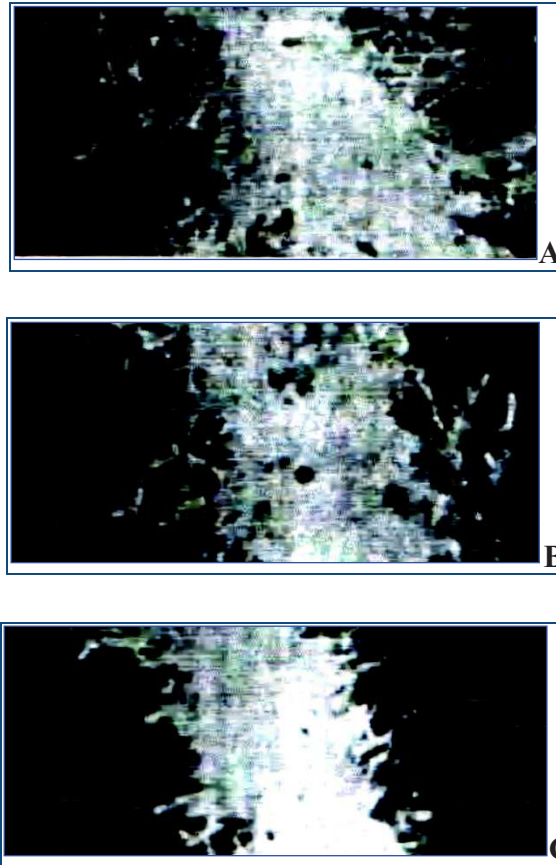


Figure 3.2 : Influence de la texture du sol sur la morphologie de racines de blé à la levée
 (A : dans un sol sableux, B : dans un sol limoneux, C : dans un sol argileux)

Source: Callot et Al (1998)

3.1.2. Effet de 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**, 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, CHAMAYOU et MAERTENS**, 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.

3.1.3. Effet de la résistance mécanique à la pénétration

L'augmentation de la résistance mécanique des sols liée au phénomène de compactage peut parfois nuire à la croissance racinaire. En effet, pour qu'une racine puisse croître, il faut que la pression qu'elle est capable d'exercer soit supérieure à la résistance mécanique du sol. Le premier auteur qui a mesuré la pression maximale que peuvent exercer les racines est Pfeiffer en 1893, il a trouvé des valeurs allant de 0,7 à 2,5 MPa (1kPa=1 N/mm²), ceci pour différentes espèces de plantes (**Bennie, 1991**).

D'autres auteurs ont trouvé des valeurs allant de 0,24 à 1,45 MPa pour l'élongation et de 0,51 à 0,90 MPa pour la croissance radiale (**Bennie, 1991**). La valeur de 3 MPa est habituellement reconnue comme le seuil limite au-delà duquel la croissance racinaire est arrêtée.

Comme il est toujours impossible de mesurer directement la résistance mécanique du sol lors de la croissance racinaire, on utilise généralement les résultats obtenus avec un pénétromètre pour mesurer la Rp et tenter d'établir des corrélations entre ces résultats et la croissance racinaire.

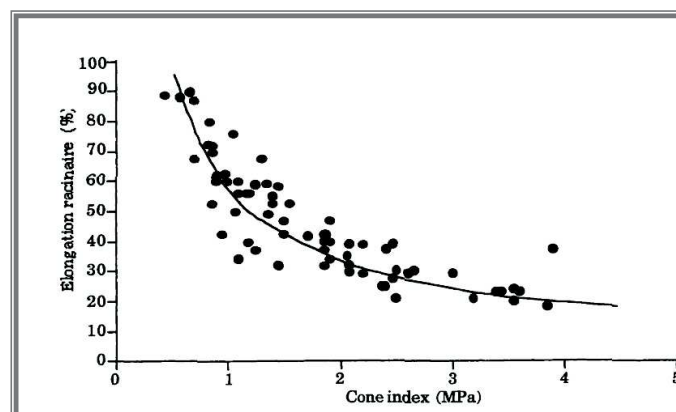


Figure 3.3 : Relation entre l'élongation des racines de plants de maïs, de coton, de blé et d'arachide âgés de 70 jours et la pression mesurée à l'aide d'un pénétromètre.

Cependant, les corrélations ne sont pas toujours aussi claires. Avant tout, il faut préciser que le pénétromètre ne reproduit pas la croissance racinaire. On comprend fort bien que l'enfoncement d'une tige rigide ne décrive pas parfaitement l'élongation racinaire. D'une part, la friction métal - sol peut-être très importante (composante absente chez les racines). On pourrait cependant diminuer l'incidence de cette composante en augmentant l'angle du cône (angle de 60 degré généralement utilisé). Il faudra également rappeler que la racine secrète une substance acide qui dissout le sol et permettant ainsi son avancement dans le sol.

Toutefois, **Tollner et Verma (1984)** ont remarqué que les cônes d'angle plus petit présentent une meilleure corrélation avec la croissance racinaire (déplacement radial du sol comme lors de la croissance des racines, au lieu de vertical pour les cônes d'angle plus large). Ainsi, pour diminuer l'influence de la friction, il est préférable d'utiliser un lubrifiant (**Tollner et Verma, 1984**).

D'autre part, la vitesse d'enfoncement de la tige est en général nettement supérieure à la vitesse de croissance des racines. La vitesse d'enfoncement du pénétromètre recommandée est de 3 cm/s (**Bradford, 1982, ASAE, 1986**). Or, la vitesse de croissance des racines a été estimée à 0,1 cm/h. Ceci peut donc nuire à la fiabilité de la corrélation. De plus, **Bradford (1982)** indique que, comme les racines sont plus flexibles, il sera préférable d'utiliser la valeur minimale de résistance à la pénétration plutôt que la valeur maximale. Enfin, le pénétromètre ne mesure pas nécessairement les mêmes contraintes, les racines pouvant exploiter les pores et les fentes pour leur croissance.

Ainsi, on constate que même s'il est possible de relier la mesure de résistance d'un pénétromètre avec la croissance racinaire, il faut être prudent dans l'interprétation des résultats.

3.1.4. Rôle de l'aération

Pour un bon départ et un bon développement de la plante, le rôle de l'aération du milieu n'est pas négligeable. **Perigaud (1966), cité par CALLOT et al (1988)**, a montré que si la résistance à la pénétration était le facteur le plus important, de très faibles teneurs en oxygène avaient également une grande influence sur l'enracinement. L'absence totale d'oxygène dans le milieu ne provoque pas forcément l'arrêt complet de la croissance des

racines (**PERIGAUD, 1966**). Toutefois, dans des sols engorgés d'eau (sols hydro morphes), les lésions de cellules du parenchyme cortical sont susceptibles de modifier l'absorption des éléments par la racine (voir figure suivante).

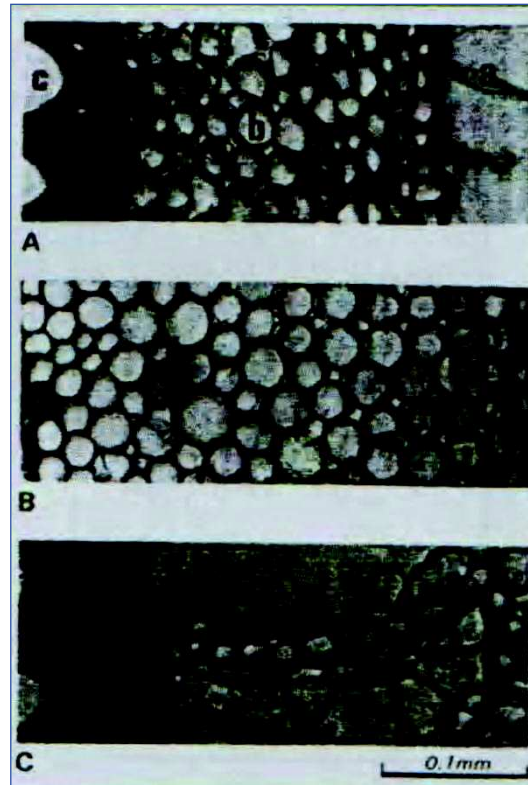


Figure 3.4 : Influence de l'humidité du sol sur l'histomorphologie des racines de maïs coupe transversale dans le parenchyme cortical de racines de maïs

A- en milieu peu arrosé

a: poil racinaire

B- en milieu bien arrosé

b: cellule du parenchyme,

C- en milieu trop arrosé

c : vaisseau du bois dans le xylème.

Source : CALLOT (1988)

Remarquons que le nombre de rangées de cellules du parenchyme reste semblable dans les trois cas (11 à 13). Les dimensions des cellules sont cependant légèrement différentes. Au niveau de (B) milieu bien arrosé les cellules ont une forme régulière ce qui n'est pas le cas en

(A) peu arrosé et surtout en (C) milieu trop arrosé où il y a asphyxie, donc manque d'air et d'oxygène.

3.1.5. Rôle de la structure du sol

Les effets sur l'enracinement de ces différentes propriétés physiques et mécaniques peuvent être fortement influencés par la structure du sol. L'enracinement dans un sol argileux très bien structuré en agrégats de petite taille, peut avoir un développement similaire à celui d'un sol sableux. De même, l'influence de la résistance mécanique à la pénétration peut être modifiée par la structure du sol. La structure et sa stabilité conditionnent pour une large part la dimension et la répartition des lacunes du sol et influencent ainsi son comportement hydrique et son aération.

D'une manière générale, dans les milieux à structure continue, les racines sont peu nombreuses, droites et présentent un aspect filiforme. Au contraire, dans les sols à structure construite, elles sont sinueuses, ramifiées et garnies de nombreux poils absorbants.

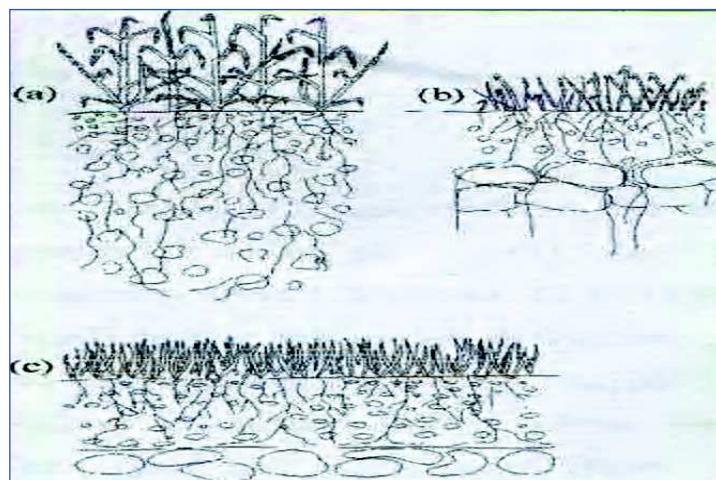


Figure 3.5 : développement racinaire dans trois sols de structures différentes

Source: Gardner et Al (1999)

Avec :

- (a) : substrat sans problèmes d'impédance mécanique.
- (b) : illustration du développement racinaire dans un sol à horizon profond à structure prismatique ou la croissance verticale se limite aux fissures de la dalle.

- (c) : illustration d'une croissance racinaire sur sous- sol à structure compacts ou la croissance verticale est inhibée en raison d'une forte résistance mécanique,

L'influence de la structure est bien mise en évidence par la comparaison de L'enracinement du blé dans deux sols voisins sablo- limoneux de granulométrie semblable mais de structure différente, appréciée par les indices, d'instabilité S et de stabilité K de HENIN. (Henin et Al 1969 In Callot Et Al). L'indice S d'instabilité structurale diminuant avec la stabilité alors que l'indice K de stabilité augmente avec la stabilité.

Tableau 3.3 : Caractéristiques physiques des sols et densité d'occupation racinaire du blé dans deux types de sols.

Sol	Profondeur en cm	S	K	Porosité	A/L+STF	Racines (g/dm ²)	RDT en grains q/ha
1	0 – 25	10.0	41.7	46.50	0.33	1.100	1.201
	25 – 50	41.6	18.7	44.00	0.31	0.070	
	50 – 75	18.8	43.7	40.50		0.031	
2	0 – 20	22.4	30.2	40.00		0.600	0.707
	20 – 45	43.7	15.5	36.00		0.100	
	45 – 75	22.4	28.2	36.00		0.007	

Source: *Duthil (1973)*

Dans le sol (2) le moins stable, l'enracinement du blé est concentré en surface et est réduit de 40% environ par rapport à celui du sol (1) bien structuré. Dans ce dernier, les racines sont sinueuses et bien réparties dans l'horizon. Si l'enracinement est semblable dans le second horizon des deux sols, malgré des porosités différentes, il est pratiquement inexistant dans le troisième horizon du sol compact et instable; indice S environ deux fois plus élevé que dans l'autre sol.

Les différences d'enracinement observées ont eu des répercussions importantes sur la production qui est diminuée dans les mêmes proportions que l'enracinement, d'environ 41% dans les conditions de sol défavorables.

En fait, la structure idéale pour un enracinement permettant une bonne alimentation minérale, dépend naturellement de la disponibilité des éléments minéraux, comme nous le verrons plus loin.

On peut cependant imaginer une structure favorisant au mieux l'absorption minérale pour les racines; structure construite à gros éléments de faible cohésion, se divisant successivement en éléments plus petits, de cohésion de plus en plus forte pour finir par des agrégats de l'ordre du millimètre de très forte cohésion. Ainsi, les racines pourraient coloniser jusqu'aux petits agrégats et profiter au maximum des éléments retenus par le sol et ceci dans la zone la plus riche en éléments minéraux, c'est-à-dire généralement dans la couche arable.

Par contre, pour une bonne utilisation des réserves en eau du sol, il n'est pas nécessaire que la colonisation soit aussi intense, notamment en surface, mais il importe surtout qu'elles soient bien réparties dans tout le profil. De telles conditions se rencontreront dans des sols bien aérés à forte macroporosité et homogènes sur une profondeur relativement importante, ces sols sont généralement labourés.

3.1.6. Influence de l'eau et éléments nutritifs sur la croissance racinaire

D'une manière générale l'eau, facteur nutritif essentiel, commande la croissance des racines ; si l'excès est néfaste car il y a risque d'asphyxie, c'est à un taux d'humidité voisin de la capacité au champ que s'observent les meilleurs résultats.

A l'effet alimentaire de l'eau, qui agit comme transporteur d'éléments nutritifs, s'ajoute son action sur la diminution de cohésion du sol qui contribue à favoriser l'élongation des racines. Les racines semblent se diriger vers les endroits où l'eau est plus facilement utilisable, à condition de ne pas en être séparées par une couche sèche.

Le volume occupé par les racines d'une plante dans le sol a une grande importance pour l'absorption de l'eau. L'espace racinaire varie selon les plantes et la nature du sol. Les racines du blé s'enfoncent à 50 cm environ dans un sable, mais peuvent atteindre 1,50 m dans un limon ; l'enracinement du maïs atteint 1,7 m de profondeur ; les racines de pomme de terre ne dépassent pas 0,60 m en zone semi-aride, les racines d'une graminée comme l'alfa

s'enfonce à 2 m dans une forêt tempérée, l'espace racinaire effectifs des arbres ne dépassent pas 1 m pour l'approvisionnement en eau. En générale, les racines superficielles peuvent vaincre des tensions de succion supérieures et se procurer de l'eau même dans un sol apparemment sec.

Les exigences en eau varient selon les plantes. Les espèces hydrophiles demandent de l'eau facile à absorber ; il faut donc que la réserve utile soit réapprovisionnée par ascension capillaire à partir d'une réserve d'eau.

La constitution d'une réserve en eau dans le sol est donc un paramètre à prendre en considération. Pour cela, le labour est une opération culturale nécessaire à la constitution de cette réserve en créant une structure à forte porosité avant les premières pluies d'automne.

3.1.7. Impacts des techniques culturales sur le développement racinaire

Les racines jouent un rôle fondamental dans le fonctionnement et donc dans la production des plantes. C'est grâce à elles que se fait l'approvisionnement en eau et en éléments minéraux de celle-ci. Mais il existe aussi d'autres fonctions: ancrage sur le substrat, réserves en assimilats, métabolisme. Les racines contribuent en particulier aux équilibres hormonaux qui contrôlent la croissance et le fonctionnement de la plante. Elles constituent également une source de matière organique pour le sol; c'est même parfois la seule restitution régulière dans beaucoup de systèmes de culture en zone tropicale. Il est donc important pour la production de la culture, mais aussi pour le maintien de la fertilité du sol, d'avoir un système racinaire bien développé, notamment en profondeur.

Or les racines croissent dans un milieu contraignant avec une résistance à la pénétration variable mais souvent élevée, en particulier dans les milieux secs et peu structurés des régions tropicales sèches. Si, en milieu non-contraignant (solution nutritive), quelques racines peuvent suffire à assurer les besoins en eau et éléments nutritifs de la plante (**Maertens *et al.*, 1974**), il n'en est pas de même au champ, où un bon développement racinaire des cultures est un facteur essentiel de leur productivité et surtout de leur tolérance aux aléas, en particulier climatiques (**Maertens, 1964; Chopart et Nicou, 1976**).

Un des rôles essentiels du travail du sol est de faciliter la croissance des racines dans ce milieu contraignant. Pour cela, il permet souvent de diminuer la résistance du sol à la

pénétration des racines à travers une amélioration de sa structure et parfois de son humidité. Il améliore aussi l'aération du sol, facilitant les échanges gazeux au niveau de la racine.

Les systèmes racinaires servent de pont entre les impacts des pratiques agricoles sur le sol et le rendement (**Klepper, 1990**). Certaines des pratiques telles que le travail du sol classique affecte le développement des racines, qui de loin est le facteur le plus important influençant la croissance des cultures (**Godwin, 1990**). Comme le travail du sol a un impact sur la distribution des racines, la suppression de ce dernier provoque une plus grande et plus profonde accumulation d'eau dans le profil du sol et une plus importante croissance racinaire (**Lampurlanés et al. 2001**). **Merrill et al. (1996)** constatent que les racines de blé de printemps pénètrent plus profondément dans le sol sous aucun travail du sol, avec une densité et une longueur racinaire plus importante en raison de la terre fraîche et la conservation de l'eau du sol importante dans la zone proche de la surface. Cependant, le non-labour peut progressivement augmenter la résistance mécanique du sol, limitant ainsi la distribution des racines dans le profil du sol (**Mosaddeghi et al., 2009**).

L'enracinement est moins important en non-labour dû à la plus grande compacité de la couche anciennement travaillée. De plus, il est situé principalement en surface. (**INRA France 1994**).

Le diamètre des racines sont également plus important dans le sol labouré avec la charrue, elles sont aussi plus abondante en labour comparativement au semis direct, sur tout le profil du sol (**Karunatilake et al., 2000**).

Dahai Guan et al en 2014, ont conduits un essai pendant deux campagnes ou ils ont étudiés l'effet du semis direct, du travail du sol classique et la rotation des techniques entre travail et non travail du sol sur le développement racinaire. D'après les résultats obtenus, le travail du sol conventionnel réduit la masse volumique apparente du sol ainsi que la résistance à la pénétration dans la zone travaillée, ce qui a conduit selon les auteurs à une augmentation de la longueur, du poids et la biomasse des racines du stade tallage au stade floraison, ce qui a conduit à l'obtention de bon rendements du blé.

Conclusion

En conclusion de cette partie, il apparaît clairement que le bon développement des cultures est étroitement lié au développement racinaire qui est lui-même conditionné par plusieurs facteurs liés au sol, à son état et à ses propriétés physicomécaniques.

D'après les travaux cités ci-dessus, on peut dire qu'il y a plusieurs facteurs tels que la résistance à la pénétration (l'état de compaction ou cohésion) , la porosité, et l'humidité qui ont une influence directe sur le développement des racines.

L'état du sol à mettre en place doit, de ce fait, tenir compte de ces différents facteurs et les modifications qui affecteront la structure du sol doivent permettre une bonne croissance des racines afin de fournir à la plante l'eau et les éléments nutritifs qui lui sont indispensables.

En conclusion à cette partie, il apparaît clairement que la texture et l'état du sol jouent un rôle primordial pour les premières phases de développement d'une culture donnée. Il serait donc nécessaire de donner une importance aux techniques de préparation du sol en choisissant correctement la forme des outils à utiliser et aussi les moments favorables d'intervention.

Conclusion

Bibliographique

Conclusion bibliographique

Au travers l'analyse de cette première partie de notre travail, qui est en fait une synthèse des études relatives à l'effet des techniques culturales sur les propriétés physico – mécanique du sol, l'impact de ces derniers sur le développement racinaire et conséquences sur le rendement final, nous avons voulu faire ressortir l'importance et le rôle des techniques de préparation du sol pour la mise en place d'une culture. Les principaux points à retenir sont principalement :

La production céréalière en Algérie est irrégulière et faible, elle est fortement dépendante des conditions climatiques ainsi qu'à la maîtrise insuffisante de la mécanisation et plus particulièrement des techniques culturales, ces dernières peuvent varier allant du travail du sol conventionnel classique avec retournement du sol jusqu'à la suppression totale de toute intervention mécanique sur le sol à savoir le SEMIS DIRECT en passant par les techniques minimum c'est-à-dire sans retournement du sol.

Ces techniques culturales ont une influence sur les caractéristiques physico - mécaniques du sol, qui eux à leurs tours sont en corrélation les unes avec les autres et ont une action notable sur les paramètres qui conditionnent le développement des racines à savoir l'eau l'oxygène et les éléments nutritifs.

Le bon développement des cultures est étroitement lié au développement racinaire, ce dernier est influencé par les paramètres physico - mécaniques du sol, or, un sol bien aéré permet un bon développement racinaire, c'est pour cela que nous tenterons dans notre expérimentation de montrer l'influence de l'action des outils aratoires sur les paramètres physico - mécaniques du sol et ces derniers sur le développement racinaire.

Le rendement des cultures est influencé en grande partie par la colonisation du sol par les mauvaises herbes, le développement de ces dernières est influencé par la technique culturale mise en place.

D'une manière générale, à travers cette étude bibliographique, on a pu constater que malgré leurs avantages, les nouvelles techniques culturales simplifiées à l'image du semis direct présentent des inconvénients et leur introduction en Algérie pose des problèmes

d'ordres pédologiques, économiques et environnementales, ce qui nous a poussé à orienter notre expérimentation vers cet objectif à savoir l'analyse du comportement du sol sous l'action de trois techniques de mises en place d'une céréale à savoir le blé dur, l'impact de ces techniques sur la colonisation du sol en mauvaises herbes, ce dernier va conditionner en grande partie l'obtention de bons rendements.

L'expérimentation va porter essentiellement sur :

- Analyse de l'effet des différentes techniques culturales sur l'humidité du sol, la porosité, et la résistance mécanique.
- Analyse des différentes corrélations entre les paramètres étudiés.
- Analyse de l'effet de la porosité et de l'humidité sur la résistance pénétrométrique
- Analyse de l'évolution de la densité racinaire pour chaque technique et chaque traitement.
- Analyse de la densité et la biomasse des mauvaises herbes.
- Analyse des composantes du rendement pour chaque technique et traitements.

Ce travail a une contribution afin de faire ressortir les effets du travail du sol et du semis direct sur les propriétés physique et mécanique du sol et d'établir l'importance des labours pour l'obtention d'une bonne structure favorable au développement racinaire de la plante, ainsi que le rendement de la culture.

L'expérimentation



*Introduction et objectifs de
l'expérimentation*

Introduction et objectifs de l'expérimentation

Le domaine des techniques de mise en place d'une culture, comme le travail du sol classique dit conventionnel et les techniques culturales simplifiées particulièrement le semis direct, est un champ de recherche très négligé en Algérie. En effet, à part quelques recherches effectuées, les études sur le semis direct sont très éparées et fragmentaires et les résultats obtenus jusqu'à présent ne répondent pas à la problématique de l'introduction de ces nouvelles pratiques en Algérie. Cette dernière peut être abordée sous trois aspects : pédologique, économique, et environnemental. Et c'est dans ce contexte qu'on a voulu apporter notre contribution en s'intéressant à l'étude de l'impact de ces techniques culturales.

La partie expérimentale s'articule autour de deux grands axes ou parties :

- 1. La première partie** a porté sur l'effet des techniques culturales sur le sol, le développement racinaire et conséquences sur le rendement du blé dur.

Dans cette partie, on a réalisé trois expérimentations différentes sur trois sites différents qui seront présentés ultérieurement au chapitre 5.

Au cours de la première expérimentation, on a analysé le comportement du sol sous l'action des pièces travaillantes des outils aratoires d'une chaîne classique de travail du sol. L'objectif était de faire ressortir l'effet de la succession des outils aratoires sur le comportement physico – mécanique du sol.

La deuxième et la troisième expérimentation ont porté sur l'analyse du comportement physico-mécanique du sol sous l'action de respectivement deux et trois techniques culturales, effet sur le développement racinaire et conséquence sur le rendement du blé dur. Les techniques culturales choisies étaient respectivement (travail conventionnel et semis direct) et (travail conventionnel, travail minimum et semis direct).

Pour les paramètres étudiés, notre choix s'est porté sur :

Paramètres liés au sol :

- L'évolution de l'humidité (%)
- L'évolution de la porosité (%)

- L'évolution de la masse volumique apparente sèche (g/cm^3)
- L'évolution de la résistance mécanique (daN/cm^2)

Paramètre lié à la croissance des racines :

- L'évolution de la densité racinaire (g/cm^3)
- Le diamètre des racines (mm)

Paramètres liés au rendement et ses composantes :

- Le poids de mille grains (g)
- Le nombre d'épi par mètre carré
- Le nombre de grain par épi
- Le rendement estimé en grain. (Qx/ha).

2. La deuxième partie de la partie expérimentale s'intéresse à l'impact des techniques culturales sur l'infestation en mauvaises herbes et conséquence sur le rendement de la culture. L'expérimentation a été menée sur un seul site, les paramètres étudiés sont :

- La densité des mauvaises herbes (nombre/m^2)
- La biomasse des mauvaises herbes (g/m^2)
- La hauteur de la plante (mm)
- Le diamètre de la tige (mm)

D'autre part, un essai préliminaire a été mené en parallèle sous serre, son objectif est de mettre en évidence l'effet du tassement et de l'humidité du sol sur le développement des racines, et c'est ce qui va être présenté au prochain chapitre.

Chapitre 04 :

Les essais préliminaires de l'effet du tassement des sols sur le développement racinaire

Chapitre 04 : Essais préliminaires de l'effet du tassement des sols sur le développement racinaire.

Introduction

Bien que les producteurs agricoles soient très bien avisés de la compaction et des conditions de travail du sol, on constate à travers le monde un nombre considérable de champs présentant une compaction de profondeur. Tout comme l'acidité, la compaction d'un sol agricole figure en tête de liste des facteurs limitatifs du rendement. Un sol en bonne santé physique est constitué de 25% d'eau, 25% d'air, 45% de matière minérale et 5% de matière organique.

Dans un sol compacté, la densité apparente du sol augmente considérablement réduisant ainsi l'espace poral du sol. Cette situation affecte négativement la vitesse du drainage, la disponibilité de l'air et de l'eau. À titre d'exemple, un sol argileux dont la densité apparente est supérieure à 1.7g/cm^3 présentera une restriction considérable à l'enracinement de la plupart de plantes.

Pour notre part, et dans ce contexte, on a tenté d'étudier la compressibilité de notre sol, dans le but de faire ressortir l'effet du tassement la croissance racinaire.

Pour cela, nous avons effectué un test au laboratoire, qui a pour but de déterminer l'effet du tassement sur le développement de la culture du sorgho, le choix de cette culture est dicté par le fait que le sorgho n'est pas trop exigeant et que son cycle de développement est très court.

Vu notre projet de recherche qui a pour objectif l'étude de l'effet des techniques culturales sur les propriétés du sol et conséquences sur le développement racinaire, cette petite expérimentation se veut donc de justifier la réalisation de ce projet, en d'autre manière elle va nous permettre de montrer l'effet du tassement du sol sur le développement des racines.

4.1. Matériels utilisés

Pour mener à bien cette expérimentation, qui n'est qu'une illustration de l'effet de l'état d'un sol sur le développement des racines. Un matériel spécifique a été utilisé. Les essais ont été réalisés à l'intérieur d'une serre.

4.1.1. Matériel végétal

La culture qui a été choisie pour cette expérimentation est donc le sorgho, le choix de cette espèce est dicté par le fait qu'elle se caractérise par un cycle végétatif est court et son système racinaire st développé.

Suivant les variétés et les conditions physiques du sol, le système racinaire du sorgho peut atteindre 110 à 130 cm de profondeur (**Chopart, 1980**). Et selon le même auteur, la vitesse de croissance peut aller de 1,4 à 2 cm/jour une semaine après le semis, c'est aussi l'un des critères qui nous a orienté vers le choix de cette culture.

4.1.2. Les pots pour plantes

Plus cultiver le sorgho, des pots sont utilisés, ces derniers ont été fabriqués par nos soins pour faciliter l'observation de l'évolution des racines. Ils sont de forme cubique, leurs supports sont en bois alors que les deux faces avant et arrière sont en plexiglas. Notre choix s'est porté sur le [Poly méthacrylate de méthyle](#) pour nous permettre d'apprécier l'évolution des racines. La figure suivante schématise la forme générale de ces pots pour plantes :

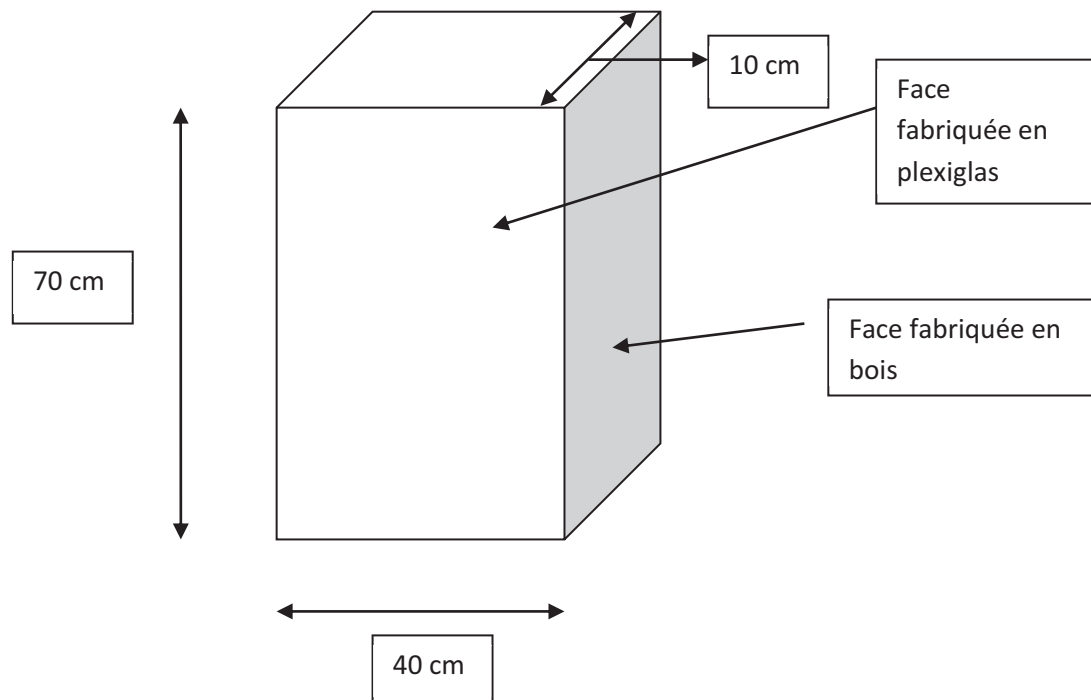


Figure 4.1: schéma général et dimensions du pot



Figure 4.2 : photo du pot

4.1.3. L'outil de compactage

Pour compacter le sol, on a conçu un outil de compactage en bois qui à la forme et les dimensions suivantes :

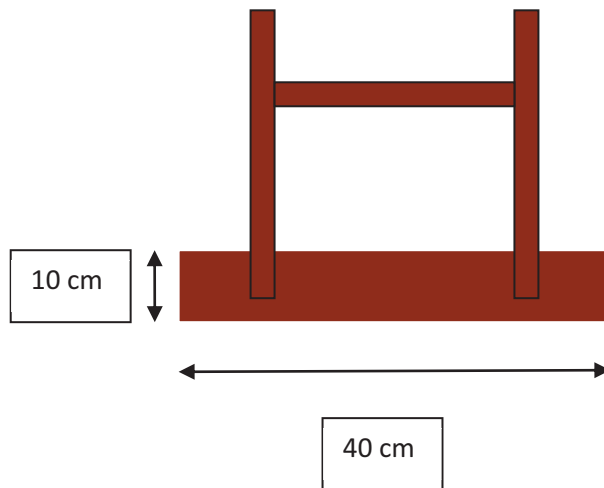


Figure 4.3 : schéma représentant les dimensions de l'outil de compactage

4.1.4. Le broyeur et le tamis

Le sol utilisé pour cet essai préliminaire est un sol remanié pour éviter toute autre interaction autre que le tassement sur le développement des racines. Pour cela le sol a été tamisé à travers des mailles de 2 mm.

4.2.Méthodologie

Pour la réalisation de cette expérience on a bien évidemment suivi un plan allant de la première étape qui consiste à la préparation des échantillons du sol jusqu'à la dernière étape ou nous avons quantifié les indices du développement racinaire.

4.2.1. Première étape : préparation des échantillons du sol

Avant de semer le sorgho, on a bien pris le soin de préparer les échantillons du sol pour remplir les pots, et avant de préparer ces échantillons, nous avons déterminé la texture de ce sol au laboratoire à l'aide de l'analyse granulométrique qui a donné les résultats suivants :

Tableau 4.1 : analyse granulométrique du sol

Granulométrie %	A	36
	L.F	23
	L.G	2,20
	S.F	16
	S.G	26,08
Triangle textural USDA		Argilo- Limoneux

Le sorgho est cultivé sur des sols variés mais exigeant une teneur minimale de 6 % en argile, la meilleure situation étant celle d'un sol sablo-argileux, profond, bien drainé, avec un pH voisin de 6-7. (Granes et Caron, 1993).

Pour notre part, notre sol appartient à la classe texturale argileuse limoneuse avec un taux d'argile avoisinant les 36% et un pH de 7,54.

D'après Kouassi (1977), la teneur en argile influe considérablement sur la sensibilité du sol au tassement :

-Au-delà de 32 % (environ), les sols sont insensibles.

-De 23 % à 32 %, les sols sont assez sensibles.

-De 10 % à 22 %, les sols sont sensibles.

-Au-dessous de 10 %, les sols sont très sensibles

4.2.2. Deuxième étape : détermination du poids des graines et le taux de germination du sorgho

4.2.2.1. Détermination du poids des graines

Pour avoir une idée sur les densités de semis il est nécessaire de connaître le poids des graines. Pour cela nous déterminons le poids moyen de 1000 graines sur 10 échantillons :

Tableau 4.2 : poids de mille graines

Echantillons	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Poids (g)	28,21	30,43	27,90	26,89	27,23	28,03	28,34	27,09	26,78	27,11

Ce qui nous donne une moyenne de 27,80 g. c'est une très bonne valeur.

4.2.2.2. Détermination du taux de germination

Le sorgho comme toutes les céréales demande pour la réussite de sa culture une bonne germination. Pour assurer un bon peuplement il est donc primordial de connaître le pouvoir germinatif des graines ensemencées. La détermination du taux de germination au laboratoire nous donne les valeurs suivantes sur les dix échantillons de 100 graines.

Tableau 4.3 : taux de germination

Echantillons	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Graines germées	85	79	92	89	88	91	82	86	86	88

Donc le taux de germination moyen est de 87%, ce qui est une bonne valeur.

4.2.3. Troisième étape : le remplissage des pots

Cette étape a consisté à remplir les dix pots tout en tassant le sol. On a divisé les pots en deux groupes de cinq pots. Dans le deuxième groupe on a laissé l'humidité constante pour les cinq pots alors qu'au niveau du premier groupe on a fait varier l'humidité.

Avant de remplir les pots par le sol, on a pris le soin d'insérer dans chacun des pots une couche de gravier pour le drainage, la quantité versée dans chaque pot est de 1500 g. On a laissé le pot « 1 » et le pot « 6 » comme témoins c'est-à-dire on n'a pas tassé le sol dans ces pots.

Le tableau suivant nous donne le poids du sol déversé dans chaque pot :

Tableau 4.4: poids du sol

Numéro du pot	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Poids du sol (g)	1404	1632	1653	1672	1678	1455	1676	1714	1730	1802

Signalons toutefois que le poids des pots vides est les mêmes pour tous les pots et est de 3300 grammes.

Les schémas suivants illustrent d'une façon claire les étapes suivies pour le remplissage des pots.

- **Le premier pot : le témoin**

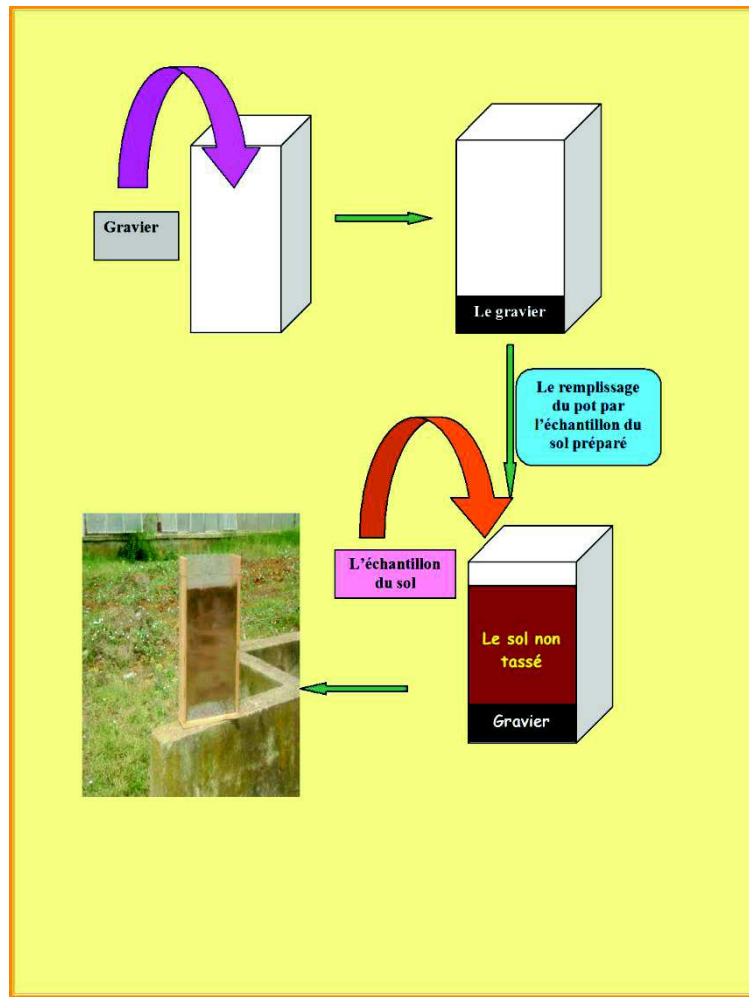


Figure 4.4 : les étapes suivies pour le remplissage du premier et cinquième pot.

- **Le deuxième pot : remplissage + tassement**

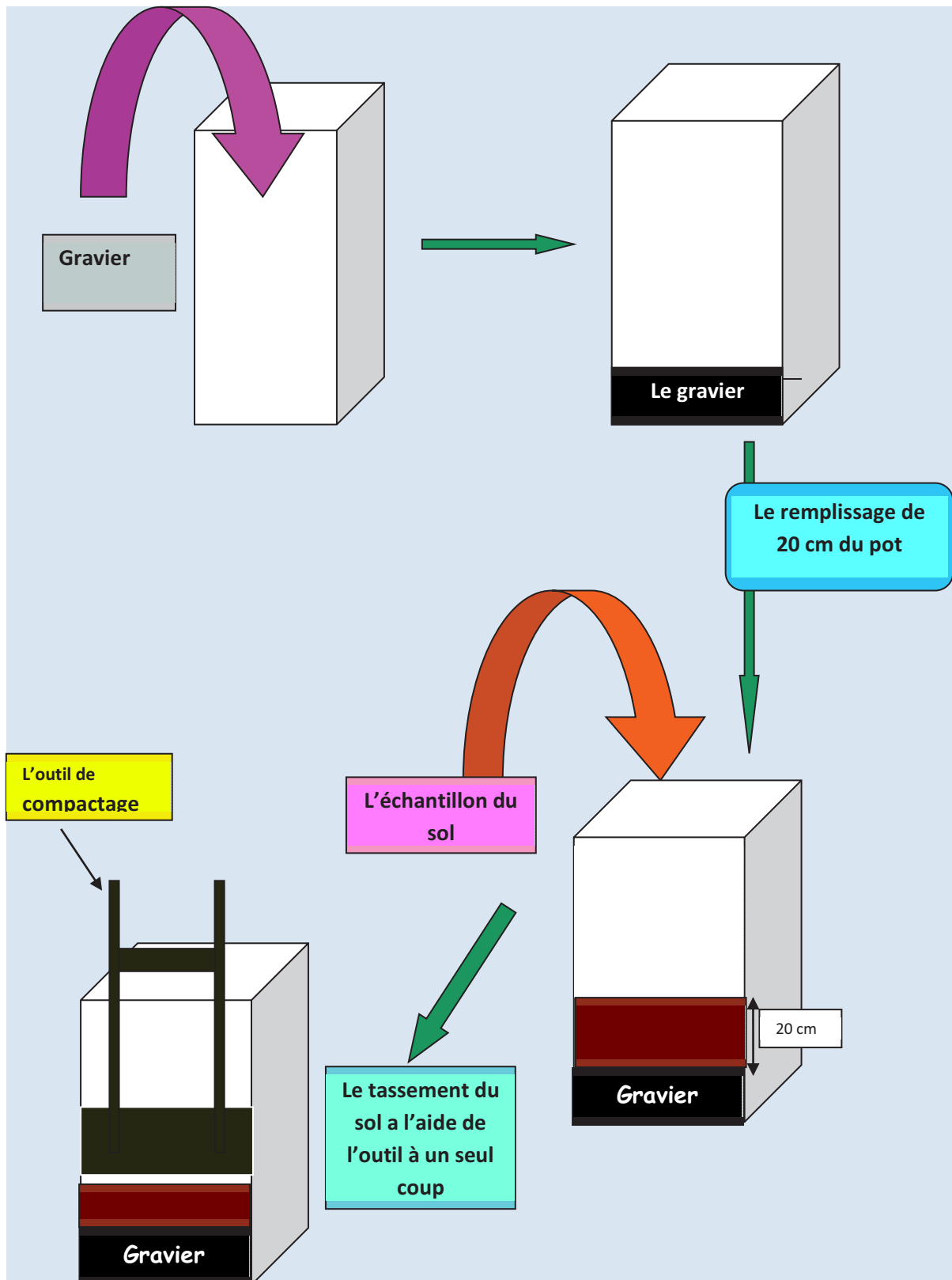


Figure 4.5 : les étapes suivies pour le remplissage deuxième pot

Après avoir versé le gravier dans le pot (environ 1500 g), l'échantillon tamisé est placé dans le pot à une hauteur de 20 cm. Cet échantillon subit un coup à l'aide d'un outil de compactage, ensuite on remplit le pot jusqu'à 40 cm et on fait subir au sol un autre coup.

Même chose ensuite pour 60 cm, ou on remplit le pot jusqu'à 60 cm après avoir compacté le sol.

- **Le troisième pot**

Le même mode opératoire pour le 3ème pot sauf qu'on fait subir au sol deux coups à l'aide de l'outil de compactage.

- **Le quatrième pot**

Le même mode opératoire pour le 4ème pot sauf qu'on fait subir au sol trois coups à l'aide de l'outil de compactage.

- **Le cinquième pot**

Le même mode opératoire pour le 5ème pot sauf qu'on fait subir au sol quatre coups à l'aide de l'outil de compactage.

Pour les pots 6, 7, 8, 9, 10, c'est des répétitions des cinq premiers pots.

4.2.4. Quatrième étape : le suivi de la culture

Les pots ont été mis dans une serre au niveau de la station expérimentale de l'école nationale supérieure agronomique.

- **L'irrigation**

Dans le tableau qui suit, sont illustrés les doses d'irrigation ainsi que la fréquence suivies :

Tableau 4.5 : les doses d'irrigations suivies

Numéro du pot	La dose et fréquence (mm/jour)
1	6
2	7

3	8
4	9
5	10
6	7
7	7
8	7
9	7
10	7

4.2.5. Méthode de détermination de la densité racinaire

Elle consiste à prélever sur une surface de 400 cm² et une profondeur de 70 cm (profondeur maximale du pot) des échantillons de terre avec racines. Ce mélange terre + racines sera déposé dans un tamis de maille fine et à l'aide d'un jet d'eau nous éliminons la terre. Ensuite les échantillons séjourneront 24 heures dans de l'eau et seront relavés de nouveau jusqu'à élimination totale de la terre. Ils seront séchés par la suite et pesés.

4.2.6. Méthode de détermination de la profondeur racinaire

Vu qu'on a travaillé au niveau de la serre sur des pots et pas dans le champ, nous avons essayé de mesurer la profondeur d'enracinement maximale atteinte par les racines de la plante sur place en creusons et ça sera bien évidemment plus simple qu'au champ surtout qu'on a l'avantage d'avoir des pots conçus en plexiglas ce qui nous a permis d'apprécier au mieux le cheminement des racines.

4.2.7. Choix des paramètres et indices

Afin d'analyser l'impact du compactage sur le développement de la plante, nous étudieront le développement racinaire de la plante à travers la profondeur d'enracinement et la densité racinaire, ces deux paramètres caractérisent l'importance du développement racinaire et nous permettront de juger de la qualité des racines en relation avec les différents états structuraux.

4.3. Résultats et interprétations

4.3.1. Densité racinaire

Les valeurs des différents prélèvements de densité racinaire sont mentionnées dans la figure suivante :

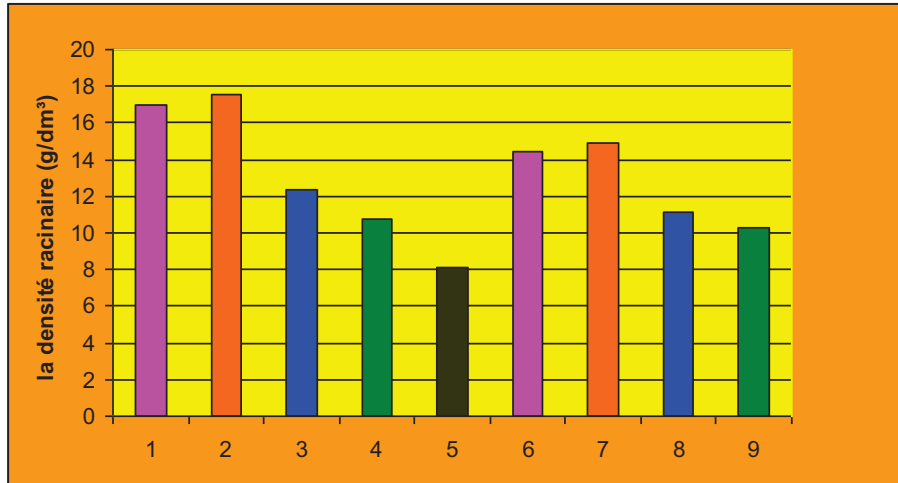


Figure 4.6 : représentation des résultats de la densité racinaire pour les dix traitements

4.3.2. Profondeur d'enracinement

Les valeurs détaillées des différentes mesures effectuées figurent dans le figure suivante

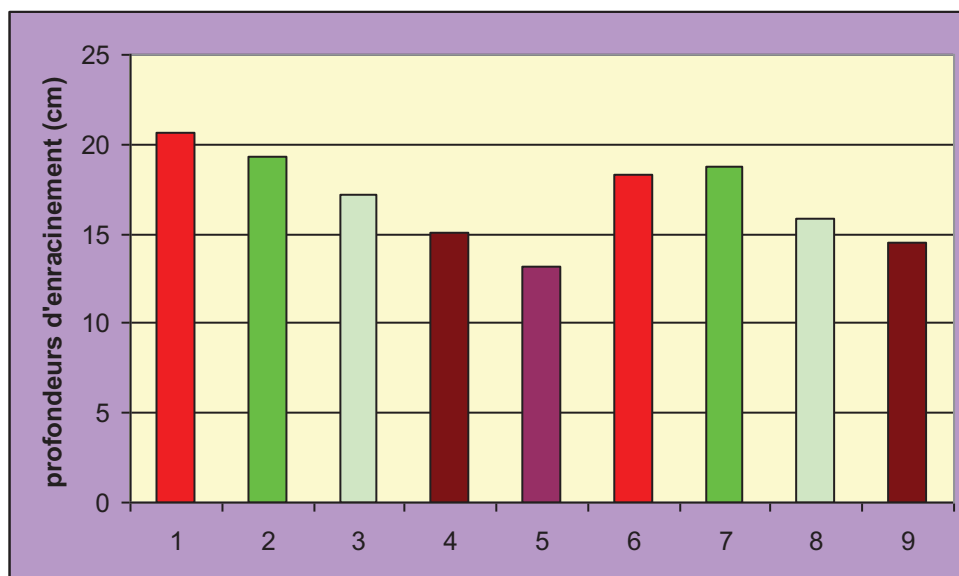


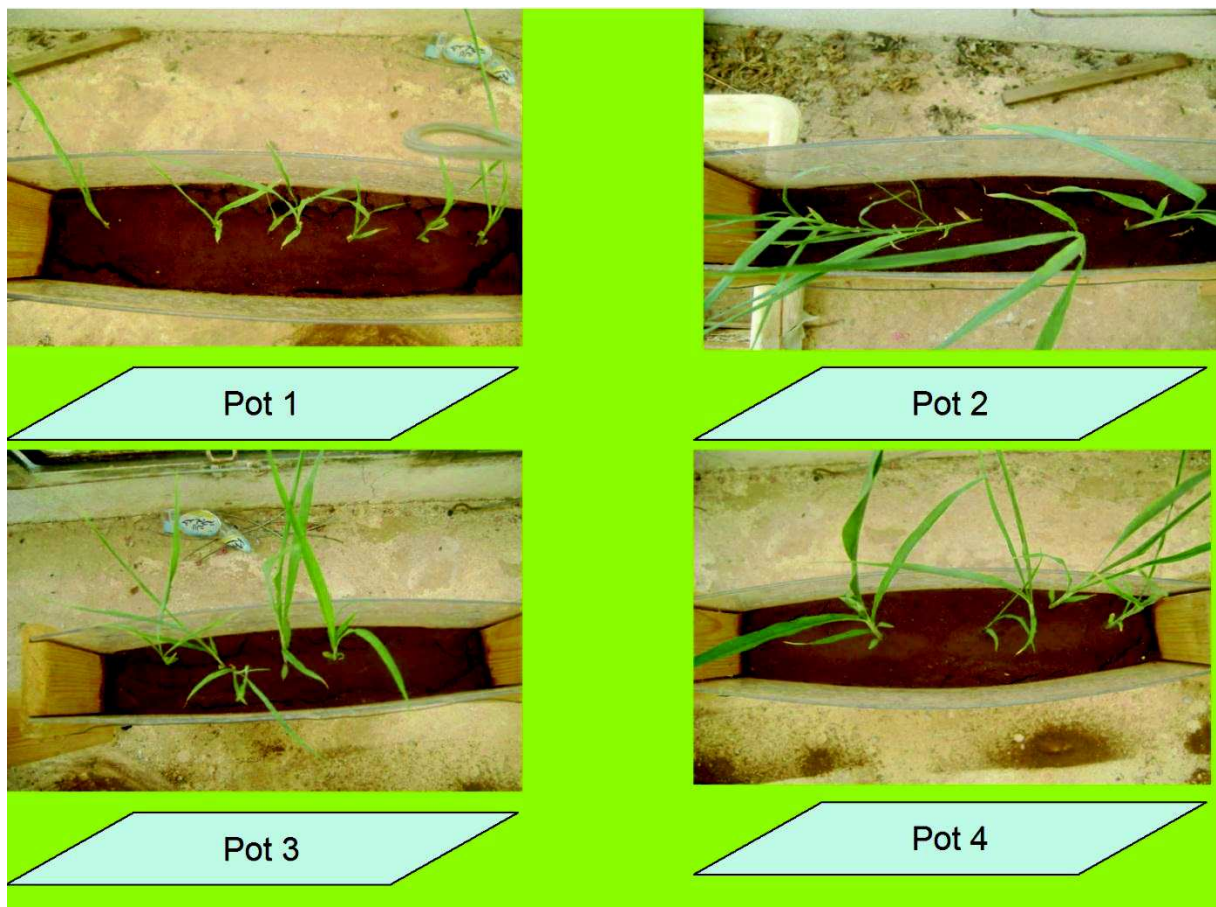
Figure 4.7: représentation des résultats des profondeurs d'enracinement pour les dix traitements

4.3.3. Discussions des résultats

Le développement des racines, apprécié par le poids et la profondeur des racines, semble être différent pour les différents cas de tassement du sol.

La meilleure densité racinaire a été obtenue pour le deuxième pot ou nous avons exercé *un seul coup avec l'outil de compactage* à trois niveaux de profondeurs. Ce compactage a eu certainement un effet positif sur la plante avec l'affinement du sol et la bonne terre fine dans laquelle a été déposée la semence.

On remarque toutefois que les autres densités obtenues semblent être identiques pour les pots (6,7) et (4,9), tout en étant inférieures à celles obtenues précédemment, cela ne peut être expliqué que par le tassement excessif subi par le sol qui n'a pas favorisé le développement adéquat des racines.



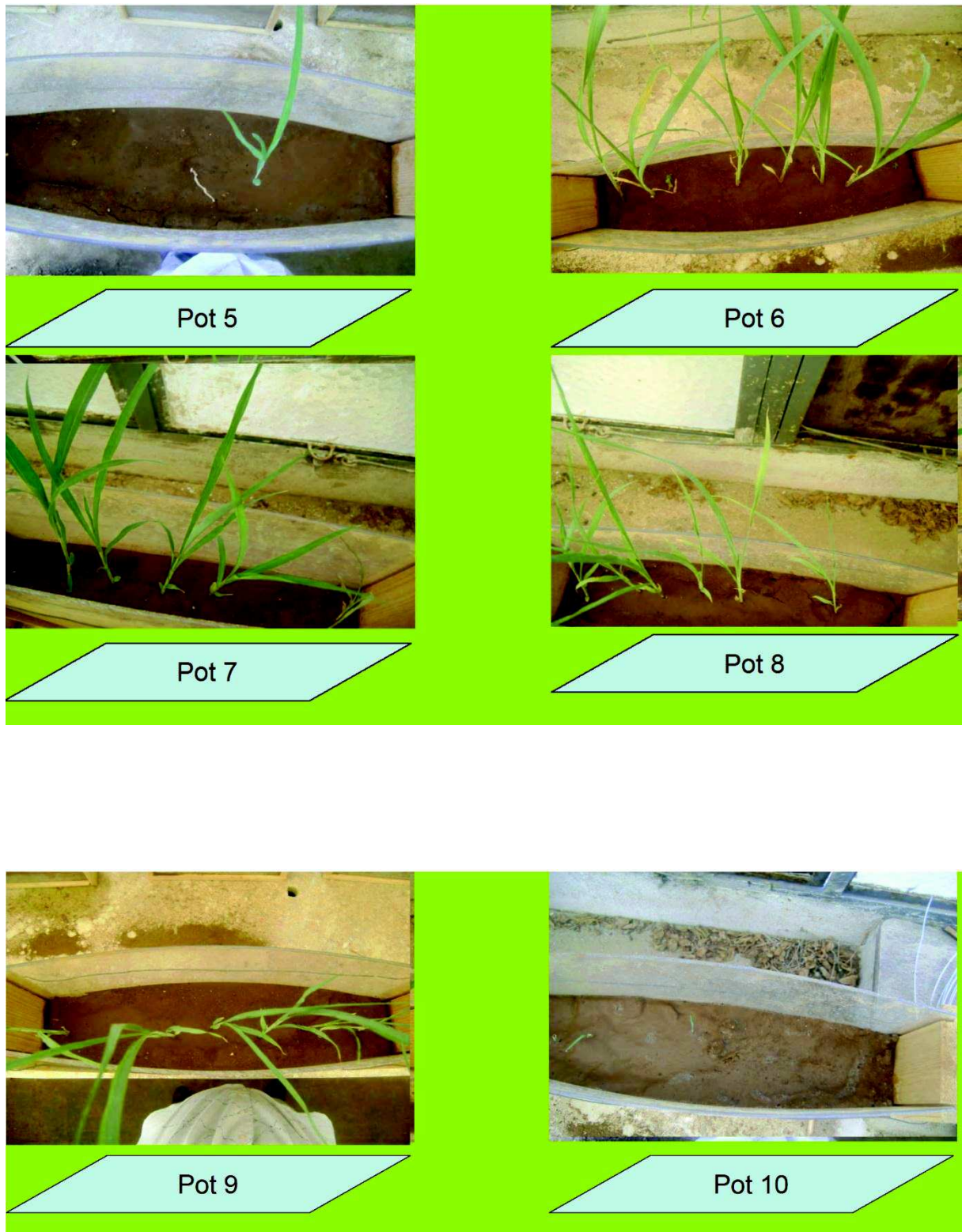


Figure 4.8 : photos prise lors de la phase végétative de développement du sorgho

Même le facteur hydrique semble avoir aussi un effet sur la densité des racines puisque la densité racinaire dans les cinq derniers pots ou on a laissé l'apport en eau constant

avec un apport de 7 mm par jour, ce qui a notre sens a influencé négativement le développement des racines et ce qui a donné des densités faibles par rapport aux cinq premiers pots.

En ce qui concerne les profondeurs d'enracinement, on constate bien que la profondeur des racines est inversement proportionnelle au tassement du sol, c'est-à-dire moins le sol est tassé plus la profondeur est grande. Et c'est ce nous avons enregistré au niveau du premier pot (le témoin) avec une profondeur de 20,6 cm. Le pot n° 5 quant à lui offre la plus faible profondeur, cela pourrait s'expliquer par la faible porosité du sol et la réduction du volume poral du au tassement du sol.

Ces résultats obtenus nous ont permis de constater l'importance du tassement et de l'humidité du sol sur le développement racinaire d'une plante comme le sorgho. Cela nous donne indirectement des informations utiles pour le choix de la technique à mettre en place. Cela évidemment pour l'obtention d'une structure optimale du sol qui permettra une bonne aération et une circulation favorable de l'eau, ce qui se répercutera positivement sur le développement des racines et par conséquent un bon rendement.

Conclusion

Les résultats obtenus au cours de ces essais confirment l'importance de l'action d'ameublissement du sol, en effet cette opération est réalisée par le cover - crop ou le cultivateur à dents, ces derniers offrent une terre fine favorable à un bon développement de la plante.

D'après ces résultats, on peut aussi déduire qu'une bonne porosité du sol permet un bon développement de la plante, c'est ainsi qu'on a obtenu les meilleures densités racinaires au niveau des pots où on a le moins compacté le sol. Donc le sol doit toujours présenter une résistance réduite pour permettre à la racine de pénétrer et de puiser l'eau et les éléments nutritifs disponible dans le sol et indispensable pour le bon développement de la plante.

D'une manière générale, ce modeste travail se voulait d'être une introduction à notre projet de recherche qui a pour objectif l'analyse du comportement du sol sous l'action de trois techniques culturales qui sont le semis direct et le travail du sol classique. Donc il nous a

permis de constater l'importance d'un bon état structural du sol en vue de la mise en place d'une culture, et ça nous amène à conclure que le choix de la technique culturale est très important pour le bon développement des racines et donc de la plante et c'est dans ce contexte qu'il faut être prudent quant à l'introduction de nouvelles techniques.

*Chapitre 5 : Présentation du milieu
d'étude*

Chapitre 5 : Présentation du milieu d'étude

5.1. Conditions pédoclimatiques du milieu d'étude

5.1.1. Situation géographique

Les données qui seront exploitées dans le cadre de ce projet ont été prélevées sur trois sites qui sont :

Premier site :

La ferme centrale de l'ENSA qui fait partie de la commune d'Oued Smar, daïra d'El Harrach wilaya d'Alger. Au nord, elle est limitée par le CNCC (centre national de control et de certification des semences) et l'ITGC (Institut Technique des Grandes Cultures), à l'est par les villages d'El Alia, à l'ouest par l'ENSA (Ecole Nationale Supérieure d'Architecture) et RUBA (Résidence Universitaire Bouraoui Amar) et au sud par la commune d'Oued Semar. Ses coordonnées géographiques sont les suivantes : 3°08' de longitude est 36°43' de latitude nord.

Sur ce site les essais ont porté sur l'analyse du comportement physico-mécanique du sol sous l'action de deux techniques de mise en place des céréales (travail conventionnel et semis direct) et conséquences sur le développement racinaire ainsi que le rendement du blé dur.

Deuxième site :

La station expérimentale de l'école nationale supérieure agronomique qui se trouve au lieu-dit Belfort dans la commune d'el Harrach willaya d'Alger. Ses coordonnées géographiques sont les suivantes : 3°08' de longitude est 36°43' de latitude nord.

Sur ce site les essais ont porté sur l'impact des techniques culturales sur l'infestation en mauvaises herbes.

Troisième site :

La station expérimentale de l'institut technique des grandes cultures (ITGC) d'Oued Smar (El Harrach)

Sur ce site les essais ont porté sur l'analyse du comportement physico-mécanique du sol sous l'action de trois techniques (travail conventionnel, travail minimum et semis direct) et conséquences sur le développement racinaire ainsi que le rendement du blé dur.

Ces sites se trouvent à 24 m au-dessus du niveau de la mer ; entre les isohyètes 600 mm et 700 mm Ils appartiennent à l'étage bioclimatique subhumide à hiver doux.

5.1.2. Conditions climatiques des sites

Les trois sites appartiennent 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.

Selon les données climatologiques de Seltzer (1946), le climat de la région d'étude est de type méditerranéen appartenant à l'étage bioclimatique subhumide. Néanmoins, et suite au changement climatique qu'a connu la région méditerranéenne certains auteurs considèrent la région comme humide à semi-aride. Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen 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.

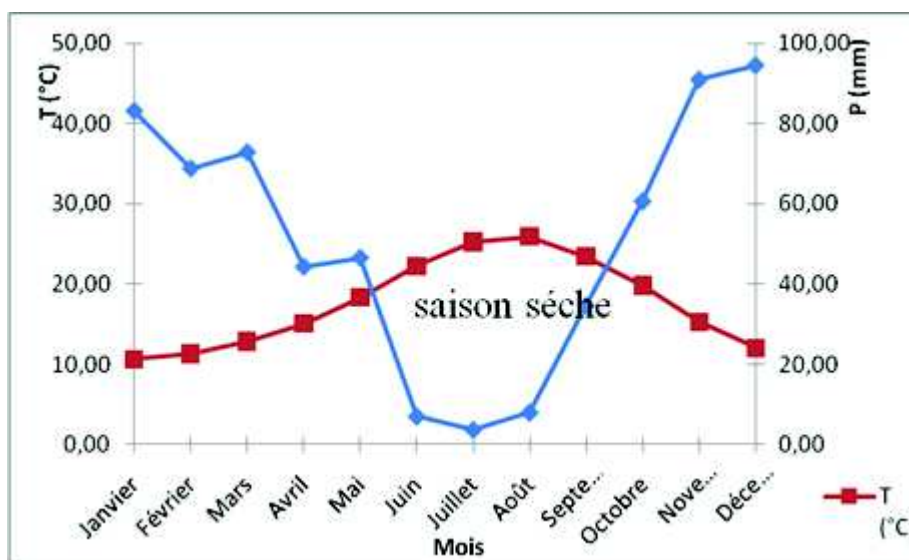


Figure 5.1 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls Et Gaussen
(La région d'EL-Harrach)

5.1.2.1. Conditions climatiques des campagnes d'essais

► Conditions climatiques du site 1 :

Pour cette campagne, 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.

Tableau 5.1 : Conditions climatiques du site 1

►	Sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin
PJ max (mm)	18,4	13	22,5	20,5	52,3	14,3	53,6	18,4	/	/
Jour du max	27	22	30	19	11	10	8	27	/	/
Nbre jour pluv.	8	3	6	9	12	10	9	8	/	/
Totaux (mm)	83,7	21,5	72,2	107,9	78,9	70,8	118,3	83,7	38,3	04,8

Source : A.N.R.H

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.

► Conditions climatiques du site 2 :

La pluie enregistrée dans la campagne 2013-2014 n'a pas dépassé la moyenne calculée sur 100 ans dans cette région, c'est juste 530 mm contre 749 mm la normale de la région, ce qui représente 30% de déficit. La plus importante quantité de pluie a été reçue entre le mois de novembre et le mois de mars, soit avant le semis du sorgho. après cela, il y a eu un printemps sec, donc, une mauvaise pluviométrie pour la culture pour le début de cycle.

Tableau 5.2 : conditions climatiques du site 2

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	fév	Mars	avril	Mai	Juin	Jui	Aout	TOTAL
T (°c)	24,7	24,1	13,2	12,7	12,9	14	12,7	17,5	19,3	22,3	25	26	18,7
P (mm)	18	31	186,4	79,3	66,6	46,7	88	0	3	1,8	1	0	521,8

Source : ANRH

le sorgho est une plante tropicale qui s'adapte à de nombreux milieux. C'est la céréale principale des zones recevant entre 800 et 1000 mm de pluie par an. Les besoins en eau du sorgho varient dans une fourchette de 350 mm à 750 mm en fonction de la longueur du cycle, de la masse du couvert végétal : grosseur des tiges et surface foliaire, et de la demande évaporative (Chantereau et Nicou, 1991).

Pour la variété *SUDAN GRASS*, une pluviométrie bien répartie située entre 650 à 800 mm est nécessaire si l'on veut assurer le rendement optimal dans des conditions de bonne fertilité des sols. Or d'après nos données, le cumul de pluviométrie est déficitaire ce qui nous a emmené à faire un apport d'irrigation.

5.1.3. Caractéristiques pédologiques des parcelles d'essais

Les analyses ont été réalisées au niveau du laboratoire de pédologie de l'agence nationale des ressources en hydrauliques. La méthode utilisée pour la granulométrie est la méthode universelle de la pipette de Robinson, on utilisant des échantillons de terre fine séchées à l'air libre, après décarbonatation et destruction de la matière organique puis la dispersion des particules par l'hexaméthaphosphate de sodium et prélèvement à l'aide de pipette de Robinson, en appliquant la loi de stokes.

5.1.3.1. Analyse granulométrique du site 01

Tableau 5.3: Analyse granulométrique du site 01

Paramètres d'analyses		Teneur
Granulométrie	Argiles (A)	23,5
	Limons fins (LF)	38
	Limons grossiers (LG)	5,30
	Sables fins (SF)	11,51
	Sables grossiers (SG)	26,14

D'après le triangle textural de l'USDA, le sol appartient à la classe texturale **loam limoneux**.

Légende : A : argile ; L.F: limon fin ; L.G : limon grossier ; S.F : sable fin ; S.G : sable grossier.

5.1.3.2. Analyse granulométrique du site 02

Tableau 5.4: Analyse granulométrique du site 02

Paramètres d'analyses		Teneur
Granulométrie	Argiles (A)	19,85
	Limons fins (LF)	18,65
	Limons grossiers (LG)	15,32
	Sables fins (SF)	18,5

	Sables grossiers (SG)	26,17
--	------------------------------	--------------

D'après le triangle textural de l'USDA, le sol appartient à la classe texturale **loam sableux**.

5.1.3.3. Analyse granulométrique du site 03

Tableau 5.5: Analyse granulométrique du site 03

Paramètres d'analyses		Teneur
Granulométrie	Argiles (A)	46,51
	Limons fins (LF)	16,67
	Limons grossiers (LG)	8,36
	Sables fins (SF)	10,28
	Sables grossiers (SG)	16,51

D'après le triangle textural de l'USDA, la texture de ce sol est de type **argileux**.

Chapitre 6 :
Matériels et méthodes

Chapitre 6 : Matériels et méthodes

6.1. Protocole expérimental

6.1.1. Les Dispositifs expérimentaux

Pour les trois sites d'essais, et tenant compte de la géométrie et de la topographie des parcelles et prenant en considération les objectifs de notre expérimentation, le dispositif factoriel bloc a été choisi comme dispositif expérimental pour les trois sites.

Nous avons respectivement :

Le Site 01 :

Le premier facteur est la technique de travail du sol avec deux niveaux :

- **Niveau 1 (TC)** : travail conventionnel : charrue à socs + cover-crop + vibroculteur + rouleau
- **Niveau 2 (SD)**: semis direct : pas de travail du sol et passage du semoir direct.

Le deuxième facteur est le traitement herbicide avec deux niveaux :

- **Niveau 1 (T)**: avec traitement herbicide.
- **Niveau 2 (NT)**: sans le traitement herbicide.

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

Nous avons deux types de techniques de préparation du sol, et deux traitements herbicides ce qui nous donne quatre combinaisons par bloc, seize parcelles élémentaires par essai. La distribution des différentes parcelles s'est effectuée au hasard.

- **Les dimensions des parcelles sont :**

Surface totale : 3196 m²

- * **Longueur totale de la parcelle 94 mètres ;**
- * **Largeur totale de la parcelle 34 mètres ;**
- * **Longueur de la micro parcelle 30 mètres ;**
- * **Largeur de la micro parcelle 10 mètres ;**
- * **Ecartement entre micro parcelles 2 mètres ;**

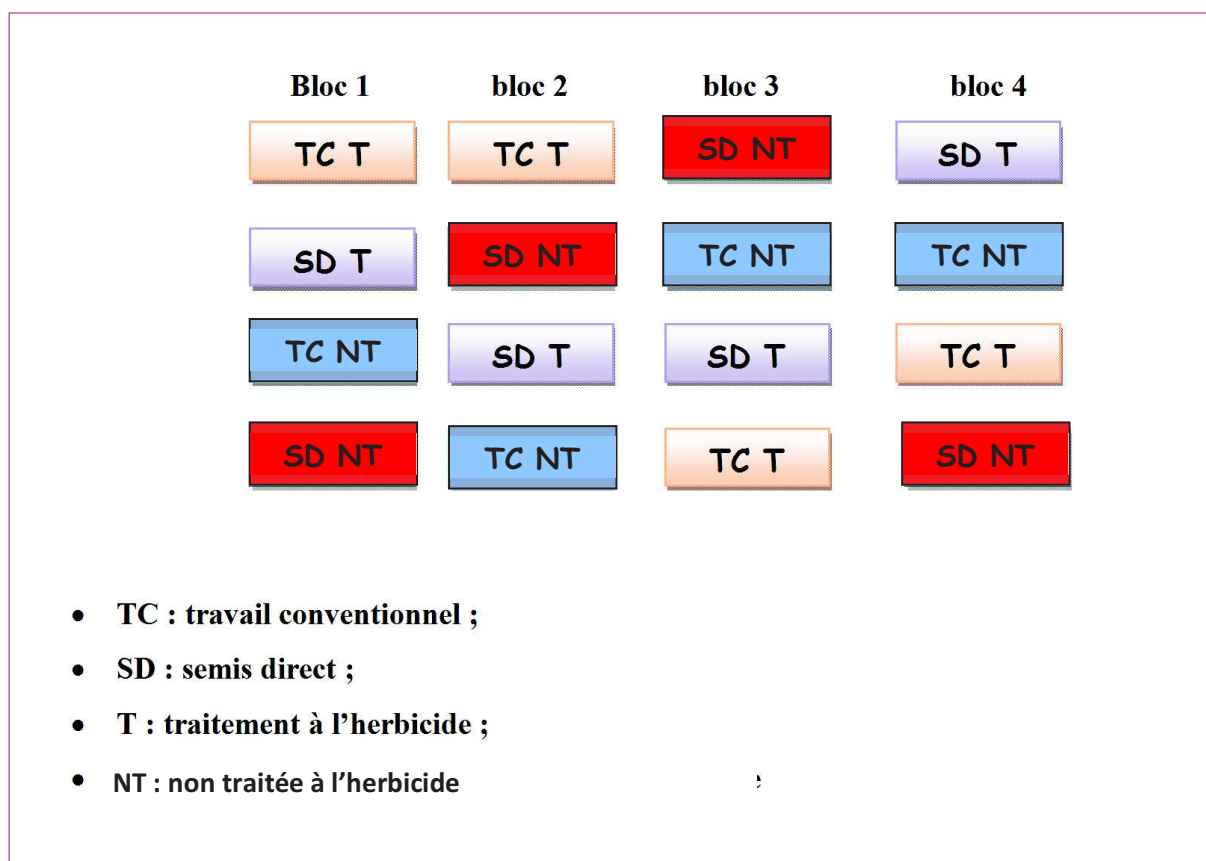


Figure 6.1: schéma général du dispositif expérimental du site 01

Le site 02 :

Le premier facteur est la technique de travail du sol avec deux niveaux :

- **Niveau 1 (TC)** : travail conventionnel : charrue à socs + cover-crop + vibroculteur + rouleau
- **Niveau 2 (SD)**: semis direct : pas de travail du sol et passage du semoir direct.

Le deuxième facteur est le traitement herbicide avec deux niveaux :

- **Niveau 1 (T)**: avec traitement herbicide.
- **Niveau 2 (NT)**: sans le traitement herbicide.

Les facteurs contrôlés : c'est les répétitions ou les blocs avec trois niveaux de symboles (B1, B2 et B3).

Nous avons deux types de techniques de préparation du sol, et deux traitements herbicides ce qui nous donne quatre combinaisons par bloc, douze parcelles élémentaires par essai. Les dimensions des parcelles sont :

- **Surface totale : 1598 m²**
- **Longueur totale de la parcelle 32.5 mètres ;**
- **Largeur totale de la parcelle 18 mètres ;**
- **Longueur de la micro parcelle 11 mètres ;**
- **Largeur de la micro parcelle 7.5 mètres ;**
- **Ecartement entre micro parcelles 1.5 mètres ;**

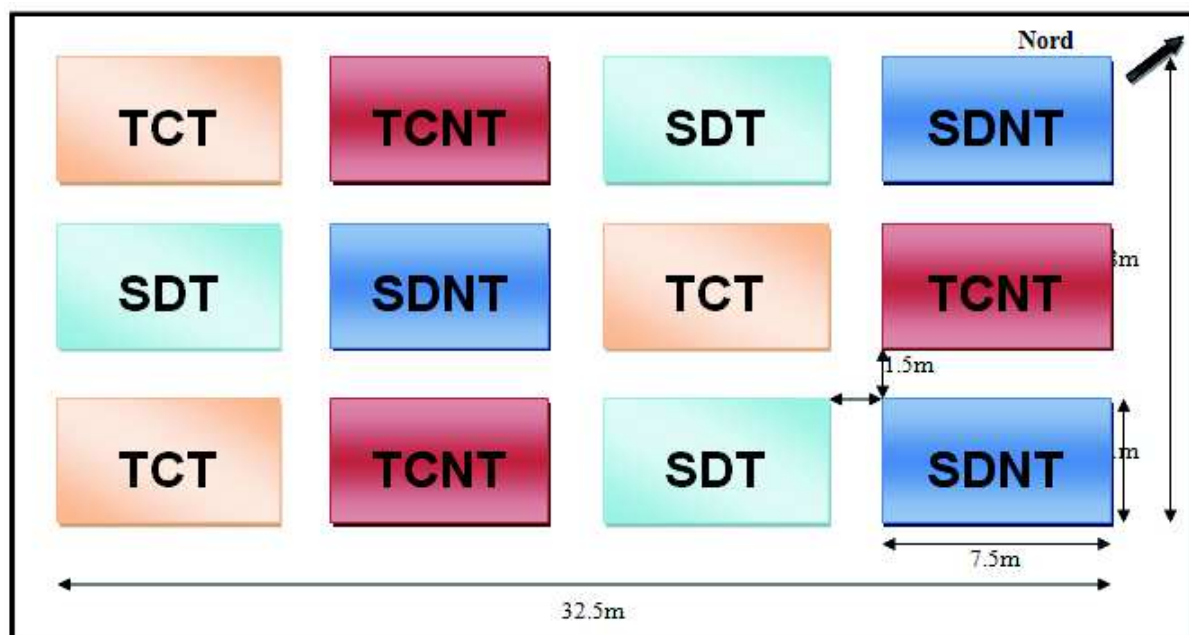


Figure 6.2 : schéma général du dispositif expérimental du site 02

Le Site 03

Le facteur étudié est la technique de travail du sol avec trois niveaux :

- **Niveau 1 (TC) : travail conventionnel**
- **Niveau 2 (TM) : travail minimum**
- **Niveau 3 (SD): semis direct**

Les dimensions de la parcelle sont :

- La longueur totale de la parcelle : 119 m
- La largeur totale de la parcelle : 50 m

- La surface totale de la parcelle : 5950 m²
- La longueur de la micro parcelle : 50 m
- La largeur de la micro parcelle : 9 m
- La surface de la micro parcelle : 450 m²
- Ecartement entre micro parcelles : 1 m.

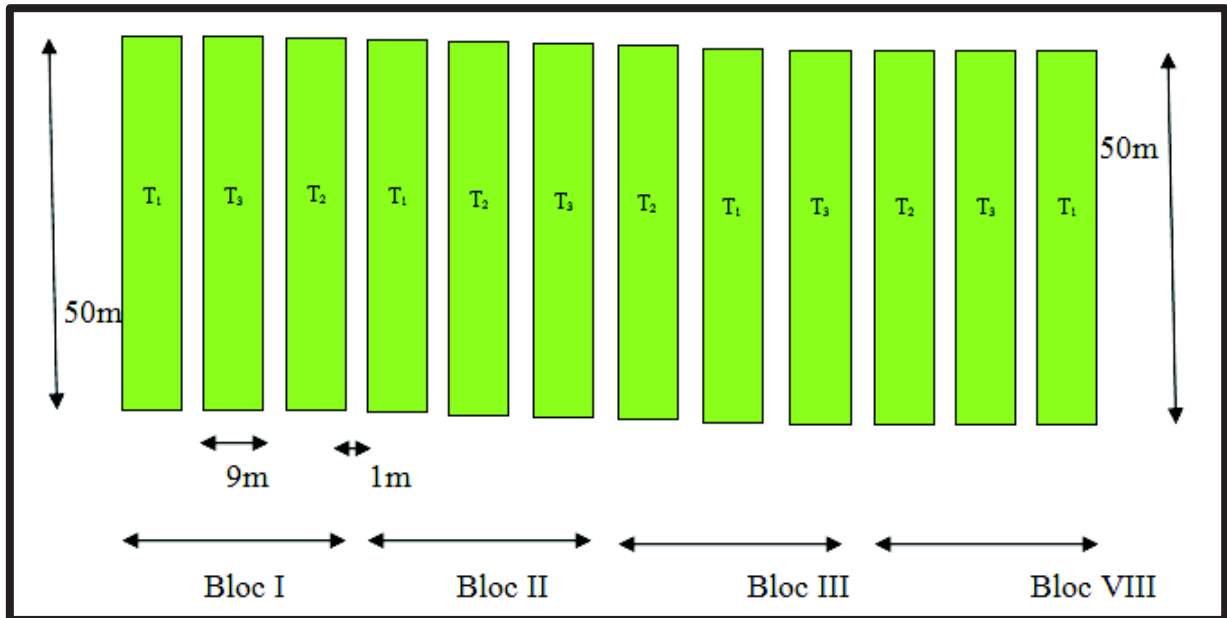


Figure 6.3: schéma général du dispositif expérimental du site 03

6.2. Conduite et suivi de l'étude expérimentale

6.2.1. Site 1 ;

⇒ Préparation du sol

Les essais ont été réalisés dans une parcelle de 3196 m², celle-ci a été divisé en seize micro parcelles : les huit parcelles travaillées ont été labourés en mois d'octobre, la reprise du labour a été quant à elle effectuée en début novembre et les façons superficielles en mois de novembre aussi.

⇒ Le semis

Les dates de semis pour chaque bloc sont :

Bloc1 : 05/12/2011

Bloc2 : 06/12/2011

Bloc3 : 07/12/2011

La culture installée est le blé dur.

⇒ **Désherbage chimique**

Le traitement chimique était nécessaire dans la mesure où on voulait étudier l'effet du traitement sur les propriétés du sol et les conséquences sur le développement de la plante. Ce qui est intéressant pour l'introduction des techniques de semis direct qui nécessitent souvent une lutte chimique contre les mauvaises herbes.

Le produit utilisé dans l'essai était polyvalent (à double action : c'est en même temps anti-dicotylédone et anti-cotylédons). Son nom commercial est l'ILLOXAN B, la dose était de 4 litres à l'hectare, selon le fabricant et les recommandations de l'INPV.

6.2.2. Le site 2 :

⇒ **Préparation du sol**

Les essais ont été réalisés dans une parcelle de 1267.25 m², celle-ci a été divisé en douze micro parcelles : les six parcelles travaillées ont été labourés en mois de mars, la reprise du labour a été quant à elle effectuée en début d'Avril et les façons superficielles en mois d'Avril aussi.

⇒ **Le semis**

La date de semis est : 09/04/2013

La culture installée est le sorgho fourrager.

⇒ **Désherbage chimique**

Le produit utilisé dans l'essai était polyvalent (à double action : c'est en même temps anti-dicotylédone et anti-cotylédons). Son nom commercial est Roundup turbo, la dose était de 5 litres à l'hectare,

⇒ Les schémas généraux de la conduite de l'expérimentation pour la détermination de l'impact des techniques culturales sur l'infestation en mauvaises herbes

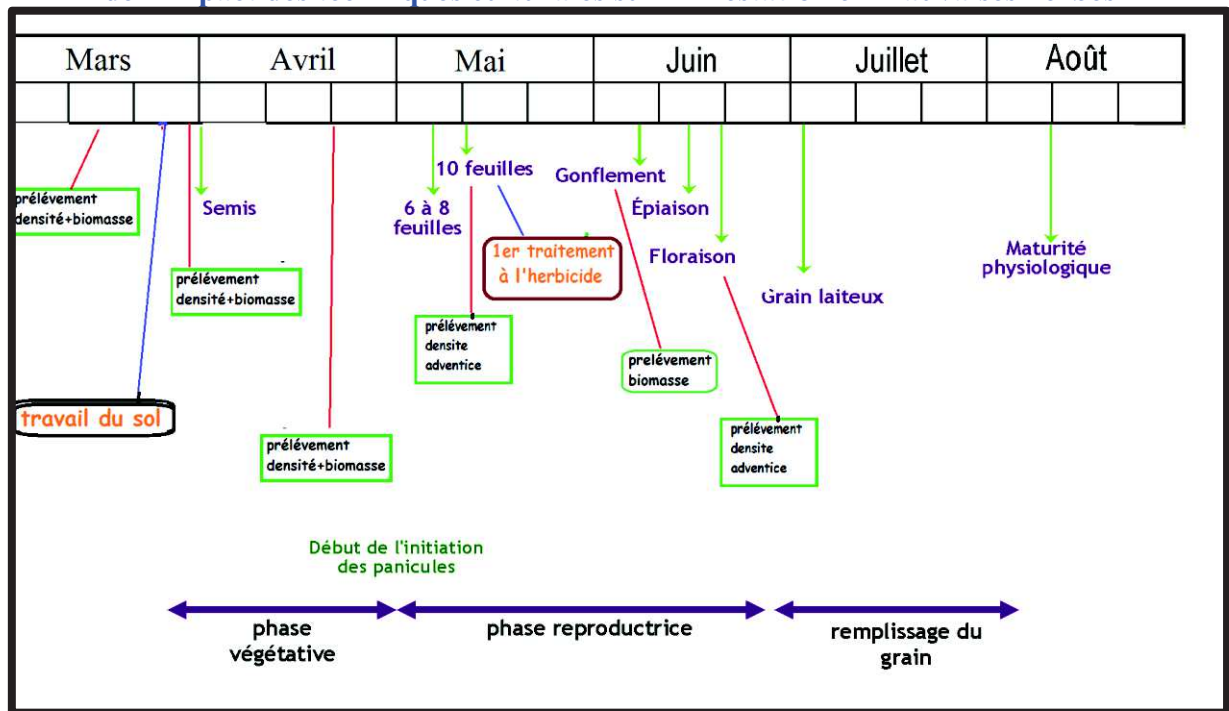


Figure 6.4 : Schéma de la conduite de l'expérimentation dans TCT

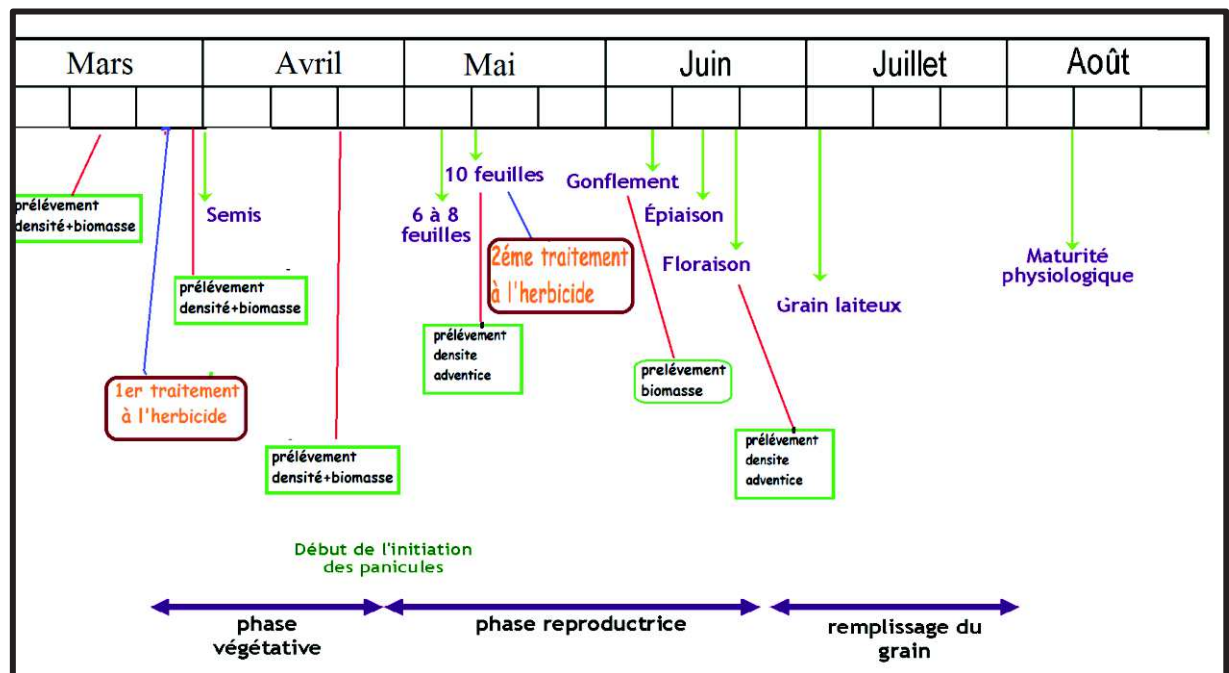


Figure 6.5 : schéma de la conduite de l'expérimentation dans SDT

6.2.3. Site 3 :

⇒ **Travail du sol classique**

Le labour a été réalisé le 14 novembre 2012 par une charrue à socs à une profondeur moyenne de 25 cm. La reprise de labour a été réalisée par un cultivateur à dents semi-rigide et ressorts de sécurité, et un vibroculteur le 15 novembre 2012. Le semis a été réalisé directement après le passage du vibroculteur (le même jour). Un passage d'un rouleau lisse a été réalisé le 16 novembre 2012. Une fertilisation azotée (urée) a été réalisée le 27 février 2013 par un pulvérisateur à jet projeté à une dose de 2qx/ha.

⇒ **Travail minimum**

Un passage d'un chisel a été réalisé le 15 novembre 2012 suivi d'un passage d'un vibroculteur le même jour. Le semis a été réalisé directement après (le même jour). Un passage d'un rouleau lisse a été réalisé le 16 novembre 2012. Une fertilisation azotée (urée) a été réalisée le 27 février 2013 par un pulvérisateur à jet projeté à une dose de 2qx/ha.

⇒ **Semis direct**

Un traitement d'herbicide total (Auragon), à la dose de 5 l/ha a été réalisé le 14 novembre 2012 le semis a été réalisé le 15 novembre 2012 avec un semoir de semis direct de marque sulky. Un passage d'un rouleau lisse a été réalisé le 16 novembre 2012.

Une fertilisation azotée (urée) a été réalisée le 27 février 2013 par un pulvérisateur à une dose de 2qx/ha.

La culture installée sur ce site est le blé dur.

La figure ci-dessous représente l'état des trois parcelles après le semis pour le site 03 :



Figure 6.6 : les parcelles du site 3 après le semis

6.3.Moyens matériels

6.3.1. Matériel de travail du sol

Pour faire l'étude comparative entre les trois techniques culturales, on a opté pour les chaînes d'outils de travail du sol suivantes :

- Site 01 :

Travail conventionnel : Charrue à socs – cover crop – vibroculteur – rouleau

Semis direct : semoir de semis direct

- Site 02 :

Travail conventionnel : Charrue à socs – cover crop – vibroculteur – rouleau

Semis direct : semoir de semis direct

- **Site 03 :**

Travail conventionnel : Charrue à socs – cultivateur canadien – vibroculteur - rouleau

Technique minimum : Chisel – vibroculteur

Semis direct : semoir de semis direct

Le choix du matériel de travail du sol utilisés est conditionné par la disponibilité au niveau des stations expérimentales de l'ENSA et de l'ITGC. Néanmoins, les chaînes d'outils choisies sont les plus répandues chez les agriculteurs dans les zones ayant les mêmes conditions pédo - climatiques de la zone d'étude.

Le travail du sol conventionnel classique est réalisé par une chaîne d'outils aratoires composée d'une charrue à socs pour le retournement du sol, le cover crop est utilisé après pour l'ameublissement du sol en sectionnant les mottes de grandes dimensions laissées par les labours, il nivelle le sol, et sectionne les débris végétaux laissés par le labour. Le pulvérisateur réduit aussi la porosité excessive provoquée par le labour. Un autre outil aratoire de reprise de labour a été utilisé à savoir le cultivateur à dents semi-rigide et ressort de sécurité, il complète l'émiettement et le mélange des débris végétaux avec le sol.

Pour le travail superficiel, le vibroculteur est utilisé, il permet d'obtenir un tri des mottes sur la surface travaillée, la terre fine tombe de la moitié au fond de la profondeur de travail tandis que les mottes plus grosses se retrouvent en surface. Ceci procure l'avantage de semer dans une terre fine et donc favorable à la germination tout en laissant un sol motteux peu sensible à la battance en surface.

Pour le rouleau, cet outil aratoire entièrement dédiés à la préparation des lits de semences, agit de façon très superficielle sur le sol, qu'il tasse légèrement (on parle de rappuyage du lit de semences), tout en complétant l'action de fragmentation des mottes en surface.

Le travail du sol minimum quant à lui a été assuré par deux outils aratoires, le chisel suivi du vibroculteur. La différence majeure avec la technique conventionnelle c'est qu'on supprime totalement le labour donc le retournement du sol, et on parle alors de pseudo labour.

Ce dernier est réalisé par le chisel, qui éclate le sol par la forte pression localisée sur une faible surface, ce qui entraîne pour un sol suffisamment cohérent (donc sec) la formation de lignes de ruptures. Le chisel a l'avantage d'effectuer un travail assez profond (jusqu'à 25 cm) sans diluer la matière organique et surtout en laissant assez de débris en surface pour assurer une protection contre l'action érosive de l'eau et du vent. C'est donc un instrument de premier choix pour la simplification du travail du sol.

6.3.2. Moyens de traction

Le tracteur utilisé lors des essais et pour toutes les opérations est le tracteur C 6807, dont les caractéristiques sont les suivantes :

- ✓ Nombre de cylindres : 4
- ✓ Puissance : 49 KW/ 68 CV
- ✓ Régime de la prise de force : 540 et 1000 tr/min
- ✓ Empattement : 2.15 m



Figure 6.7 : Tracteur CIRTA 6807

6.3.3. Matériel de semis et d'entretien

6.3.3.1. Matériel de semis

Deux semoirs ont été utilisés, le premier pour la technique conventionnelle, et le second pour le semis direct.

Pour le semis classique nous avons utilisé le semoir en ligne : AGRIC PSM 30. Les caractéristiques principales du semoir AGRIC PSM 30 sont résumées ci-dessous :

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



Figure 6.8 : le semoir en ligne AGRIC PSM 30

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 6.9 : le semoir direct SEMEATO SHM 13

6.3.3.2. Matériel de traitement chimique

Les traitements chimiques ont été effectués dans les sites 01 et 03 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 6.10 : Pulvérisateur à jet projeté.

Contrairement aux deux précédents sites, les traitements chimiques ont été effectués dans le site 02 avec un pulvérisateur à dos, ce choix est dû au fait que la taille des micro-parcelles n'est pas importante ce qui rend l'utilisation du tracteur avec un pulvérisateur à rampe difficile.

Les caractéristiques du pulvérisateur à dos sont les suivantes :

- Capacité : 16 L
- Largeur de travail : 25 cm.
- Type de buse : à fente.



Figure 6.11: pulvérisateur à dos

6.3.4. Matériel végétal

Les variétés utilisées sont :

- ❖ la variété « **Vitron** », qui est une céréale, blé de printemps, destiné pour le semis d'hiver. Elle n'exige pas de vernalisation pour épier. **Zone de culture** : La variété Vitron s'adapte dans toutes les zones céréalières où la pluviométrie annuelle moyenne est supérieure à 400 mm.
- ❖ La variété <<**chen's**>> Cette variété est une culture importante de l'environnement méditerranéen, qui est traditionnellement cultivée en conditions pluviales dans les zones marginales des régions semi-arides, avec des rendements moyens souvent très faibles (en Algérie : 300 à 1200 kg.ha-1). Cette variété possède un système racinaire fasciculé à un grand nombre de ramification. Cette variété a un pouvoir germinatif très élevé, il est de 97%.

6.4. Techniques et méthodes de mesure

6.4.1. 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, 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 a 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, 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 :

$$W = \left(\frac{M_w}{M_s} \right) \times 100 = \left[\frac{(M_t - M_s)}{M_s} \right] \times 100 \quad (1)$$

Avec:

W: taux d'humidité (%)

M_w : masse de l'eau (g)

M_s : masse du solide (g)

M_t : masse totale du sol (g)



Figure 6.12 : la tarière.

Divers procédés d'étuvage sont pratiqués. Le plus courant consiste en un séchage au four à la température de 105° pendant 24h.

6.4.2. Mesure de la masse volumique apparente

La masse volumique apparente (généralement exprimée en g/cm³) 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 masse volumique apparente si la densité des particules est connue. Les changements intervenant dans la masse volumique 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 utilisé est la Méthode du carottage : le cylindre de volume connu (400 cm³), dont l'extrémité a été aiguisée, est enfoncé de façon mécanique dans le sol (dans trois horizons 0-10-30 cm) ; puis dégagé 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 240 échantillons au total. Après séchage à l'étuve (à 105°C pendant 24h) ce volume est pesé, ce qui permet de calculer la masse volumique apparente qui est en fait un simple rapport masse / volume soit :

$$\rho_{as} = \frac{P}{V} \quad (2)$$

Avec :

ρ_{as} : masse volumique apparente ; P : poids de l'échantillon sec;

et V : volume de l'échantillon de terre.

6.4.3. Déterminations de masse volumique du grain solide (masse volumique réelle)

La masse volumique du grain solide 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 (Vo) connu. Les échantillons sont laissés jusqu'à la disparition de toutes les bulles d'air, soit le volume V1.

La masse volumique du grain solide se calcule alors par la formule suivante :

$$\rho_s = \frac{P_s}{V} \quad (3)$$

Avec :

ρ_s : masse volumique réelle (g/cm³) ; P_s : poids du sol sec (g) ; V : volume de l'eau déplacé (cm³).

6.4.4. Détermination de la résistance pénétrométrique

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.



Figure 6.13 : le pénétromètre

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, 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 a pénétration nulle (au laboratoire de résistance des matériaux de l'ENSA). 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 :

$$P = \frac{F}{S} \quad (4)$$

Avec :

F : effort appliqué (daN) ;

S = surface projetée du cône (cm²)

6.4.5. Dispositif d'analyse de l'aptitude au tassement

L'analyse de l'aptitude du sol a été réalisée à l'aide d'un appareil de laboratoire conçu pour mesurer le tassement d'un échantillon de sol sous un effort donné. Il est composé d'une plaque métallique supportant dix cylindres de volume égale 84,78 cm³ ou les échantillons du sol vont être placés, ces derniers vont être tassés à l'aide d'un piston qui supporte une force dont on fixe l'intensité et on transmet la pression choisie à l'échantillon.

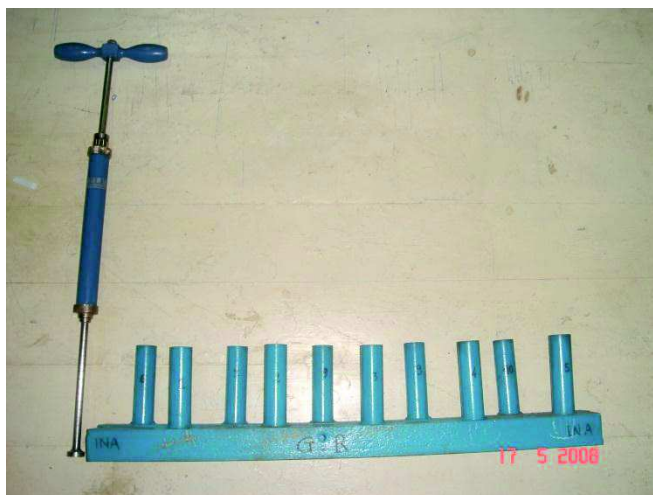


Figure 6.15 : Dispositif d'analyse de l'aptitude au tassement

6.4.6. Méthodologie de mesures relatives à la culture du blé

Les paramètres auxquels nous nous sommes intéressés sont respectivement : la densité et le diamètre racinaire, poids de mille grains, le peuplement épi par mètre carré, le nombre de grain par épi, le rendement estimé en grain

6.4.6.1. La densité racinaire

Pour obtenir des données quantitatives, on peut prélever des échantillons de sol de la parcelle à étudier en ayant recours, pour cela, à des techniques de carottages avec un cube métallique de volume connu (6000 cm^3) soit 20 cm de longueur, 20 cm de largeur et 15 cm de hauteur, ce dernier dont une de ses extrémités a été affûtée, est enfoncé de façon mécanique dans le sol (dans l'horizon 0 – 20 cm) ; puis dégagé en creusant autour.

Une fois les échantillons prélevés, on va extraire les racines de ce volume de terre, pour cela, on procède à un tamisage du sol sous jet d'eau, avec un tamis à mailles de 1 millimètre. Une fois les racines extraites et séparées des débris organiques, on mesure leurs poids, et comme étant donné que le volume du cube est connu on pourra bien évidemment déterminer la densité racinaire qui est en fait le poids des racines divisé par le volume du cube.

6.4.6.2. 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 boites 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 boite de pétri pour éviter le dessèchement de l'échantillon. La faculté germinative a été calculée par la relation suivante :

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

Source : Boulal.H et Al. (2007)

6.4.6.3. 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.

6.4.6.4. 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 (voire figure ci-dessous) 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.

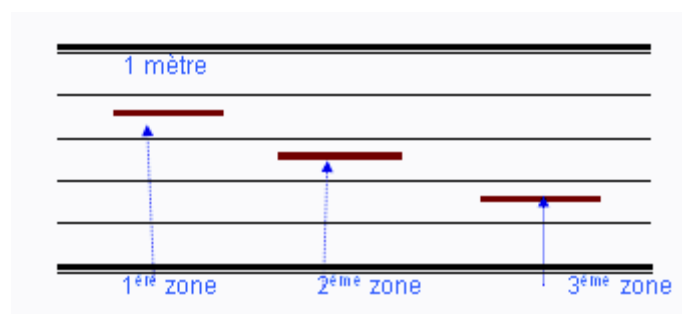


Figure 6.16: les trois zones de prélèvements des échantillons dans une parcelle élémentaire de six lignes

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 :

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

Source : Kelkouli (2008)

- 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.

6.4.6.5. 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.

6.4.6.6. 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 :

$$Rdt = (Ng / m^2) \times PMG \quad (5)$$

Avec :

Rdt : rendement en grains (q/ha)

Ng/m² : le nombre de grains au m²

PMG : le poids de mille grains.

6.4.7. Méthodologie de mesure relative aux mauvaises herbes

6.4.7.1. Evaluation de l'efficacité des herbicides

Elle se fait visuellement avant le traitement et après l'application des herbicides avec comparaison des témoins non traités selon l'échelle de **E.W.R.S** (European Research Society)

Elle est basée aussi sur l'évaluation du pourcentage de destruction qu'on peut obtenir en appliquant la formule suivante :

$$\text{Pourcentage de destruction} = \frac{X-X'}{X} \times 100 \quad (6)$$

X : nombre d'individus par mètre carré de la parcelle témoin

X' : nombre d'individus par mètre carré de la parcelle traitée

Les échelles :

- L'échelle 01 : 0 à 15 % de destruction
- L'échelle 02 : 15 à 35 % de destruction
- L'échelle 03 : 35 à 65 % de destruction
- L'échelle 04 : 65 à 85 % de destruction
- L'échelle 05 : 85 à 100 % de destruction

6.4.7.2. La densité des mauvaises herbes

A l'aide d'un cadre de 0,25 m² placé aléatoirement sur trois endroits de la micro parcelles, nous allons compter le nombre de mauvaises herbes pour estimer l'enherbement à des intervalles de temps précis :

6.4.7.3. Biomasse aérienne (g/m²)

A l'intérieur d'un cadre de 0,25 m² nous allons prélever des plants de mauvaises herbes, les parties aériennes de ces adventices ont été mises à l'étuve à 90°C pendant 24 heures, une fois sorties de l'étuve nous allons peser leurs poids sec.

6.4.7.4. Recensement des espèces adventices au cours de l'expérimentation

Recenser les types de mauvaises herbes développés dans les parcelles travaillées et les parcelles menées en semis direct

6.4.7.5. Evaluation de la phytotoxicité de la culture

Elle se fait visuellement après l'application de chaque herbicide selon l'échelle de notation préconisée par la commission des essais biologiques C.E.B (1973) varie de 0 à 4

- Echelle 0 : aucun dégât sur la culture
- Echelle 1 : retard de végétation par rapport au témoin (mais très léger)
- Echelle 2 : retard de végétation par rapport au témoin, brûlure sur feuilles, manque à la levée
- Echelle 3 : brûlure, destruction totale de la culture, manque à la levée
- Echelle 4 : destruction totale de la culture

*Partie 01 : analyse du comportement du
sol sous l'action de trois techniques
culturales, incidence sur le développement
racinaire et conséquence sur le rendement
du blé dur*

Chapitre 07 :

*Analyse du comportement physico -
mécanique du sol sous l'action des
différentes pièces travaillantes des outils
aratoires d'une chaîne classique de
préparation du sol.*

Chapitre 07 : Analyse du comportement physico - mécanique du sol sous l'action des différentes pièces travaillantes des outils aratoires d'une chaîne classique de préparation du sol.

Introduction

Les techniques de préparation du sol, même si elles sont nombreuses, ont pour premier objectif la transformation de l'état initial du sol souvent caractérisé par un tassement excessif dû aux nombreux passages de machines agricoles du semis à la récolte, en un état final caractérisé par une porosité moyenne permettant une bonne infiltration de l'eau pour constituer des réserves en eau et en même temps un bon développement du système racinaire nécessaire au bon développement de la culture à mettre en place.

Cette étude est une contribution à ces préoccupations de tassement, elle portera principalement sur une analyse de l'évolution de certaines propriétés physiques ; comme la porosité et la teneur en eau du sol et mécanique ; comme la résistance pénétrométrique du sol sous l'action des différentes pièces travaillantes des outils aratoires d'une chaîne classique de travail du sol. L'objectif de notre travail est de montrer que chacune des étapes de la préparation du sol a un effet sur la porosité, la teneur en eau et sur la résistance pénétrométrique. Chacun de ces paramètres a un effet certain sur le développement des racines et par conséquent sur celui de la plante à mettre en place.

7.1.Evolution de l'humidité

Le premier paramètre étudié est l'humidité, ce dernier, a une importance capitale pour la germination, la levée et le développement des plantes de blé. L'humidité du sol est conditionnée par les précipitations cumulées durant la campagne de semis.

Les taux d'humidité mesurés sur la parcelle 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 sont mentionnés sur le tableau et la figure suivante :

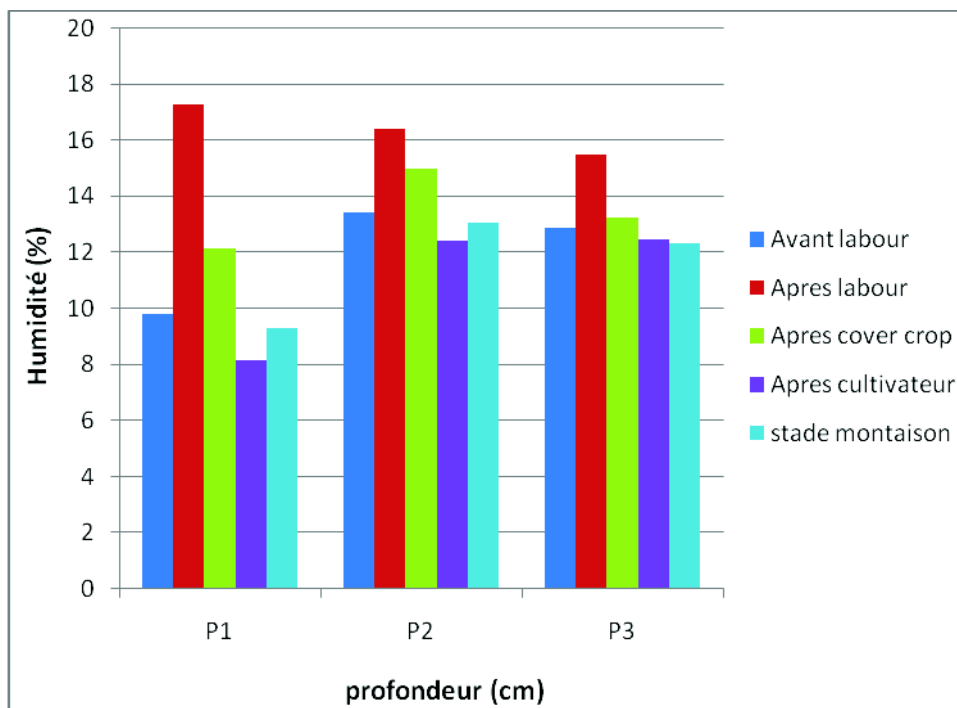


Figure 7.1: variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur du sol

La figure ci-dessus représente la variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur du sol.

D'après cette figure, on peut constater qu'au niveau du premier horizon la teneur en eau change après les passages répétés des outils aratoires. D'autres parts, le taux d'humidité atteint son maximum après labour ; l'écart enregistré de la teneur en eau après labour par rapport à la valeur initiale est de 2.35%. On remarque toutefois une légère diminution de l'humidité après passage du cultivateur, au stade montaison l'humidité atteint sa plus basse valeur, on enregistre 9.3 %.

Au niveau du deuxième horizon, le constat est le même juste que l'écart d'humidité est de 1.52% pour le cover crop par rapport à la valeur initiale ; une diminution est enregistrée toutefois après passage du cultivateur.

Pour le troisième horizon, le constat est le même juste que l'écart d'humidité est de 0.37 % pour le cover crop par rapport à la valeur initiale ; une légère diminution est enregistrée toutefois après passage du cultivateur, au stade montaison l'humidité atteint sa plus basse valeur, on enregistre 12.29 %.

De façon générale, les différents passages des outils aratoires par leurs actions ont un effet sur la teneur en eau dans le sol. Les résultats montrent que le labour permet une

augmentation de la teneur en eau au niveau du premier horizon. Nous constatons aussi que l'humidité du sol diminue légèrement après passage du cover crop et du cultivateur à dent.

7.2. Evolution de la porosité

Le deuxième paramètre analysé est la porosité, ce dernier conditionne pour une grande partie la rétention d'eau par le sol, l'aération des racines, et leur progression dans le sol. L'analyse de l'effet des outils aratoires sur la densité apparente et sur la porosité est représentée dans le tableau 7.2 et la figure 7.2

Tableau 7.2 : évolution de la porosité totale du sol.

Paramètres	Avant labour	après labour	Après cover crop	Après outils à dents	stade montaison
pas (g/cm)	1,46	1,24	1,2	1,16	1,29
n (%)	40,4	49,38	51,02	52,65	47,00

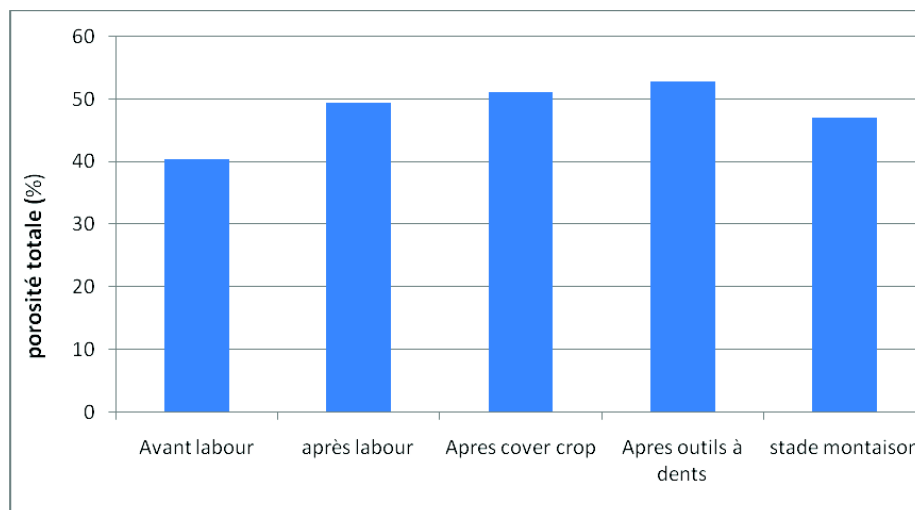


Figure 7.2 : Evolution de la porosité totale.

La figure ci-dessus représente la variation de la porosité totale après passage des outils aratoires.

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 maintien son espace poreux a 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, les pores y compris.

Dans notre cas, et après labour nous constatons un accroissement accru de la porosité, l'écart par rapport à la valeur initiale est de 8.98%.

Après le passage des autres outils, la porosité augmente légèrement et contribue pour un bon développement de la plante, on remarque toutefois une légère diminution de la porosité après le développement de la culture (stade montaison), cette diminution est peut être due essentiellement au phénomène du tassement causé par le passage du tracteur pour effectuer les différents traitements.

Globalement le degré de porosité augmente fortement après le labour et légèrement après les passages du cover crop et du cultivateur à dents.

Par ailleurs, puisque 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.

On peut conclure que le passage des outils aratoires contribue à la création et le maintien d'une forte porosité structurale.

7.3. Evolution de résistance pénétrométrique du sol

La mesure de la résistance pénétrométrique au moyen d'un pénétromètre est l'un des indicateurs fréquemment utilisés pour donner un aperçu sur l'état de compaction du sol et la contrainte qu'oppose le sol a la progression des racines. Les premières observations sur l'évolution de la résistance pénétrométrique du sol en relation avec la profondeur sont mentionnées sur le tableau 7.3 et la figure 7.3.

Tableau 7.3 : résistance pénétrométrique en relation avec la profondeur.

Profondeur (cm)	avant labour	Après labour	Après Cover crop	après cultivateur	après stade montaison
0	0	0,57	0	0	0
2	0,1	1,58	1,32	0,39	0,29
4	5,58	2,28	2,46	1,39	1,41
6	9,2	3,23	3,9	1,85	5,46
8	9,34	3,68	5,38	3,35	7,77
10	9,3	4,1	6,47	4,49	9,51
12	9,3	4,27	7,05	5,94	11,25
14	9,2	4,19	7,43	8,05	12,16
16	9,16	4,33	7,55	9	12,60
18	8,9	4,61	7,83	9,15	13,10
20	3,34	5,04	8,02	9,14	14,01
22	2,74	5,47	8,5	9,68	14,28
24	2,44	5,9	7,99	9,45	13,73

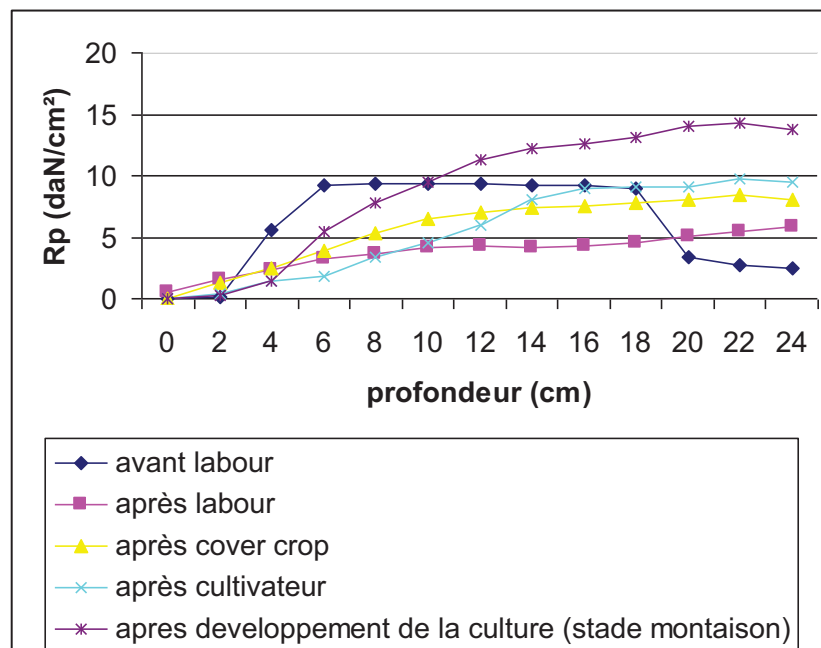


Figure 7.3 : évolution de Rp en relation avec la profondeur.

Cette figure montre clairement l'effet du passage des différents outils aratoires sur la résistance pénétrométrique du sol. Nous remarquons qu'à partir de profondeur de 18 cm, la résistance pénétrométrique devient plus importante après le passage des outils aratoires, ce qui est certainement due aux différents passages du tracteur utilisé. La figure 42 montre que la semelle de labour se situe à une profondeur supérieure à 21 cm. Pour plus de précision, une analyse de l'évolution de résistance pénétrométrique a différents horizons est réalisée et dont les résultats sont les suivants (tableau 7.4 et figure 7.4) :

Tableau 7.4: évolution de la résistance pénétrométrique moyenne

profondeur (cm)	avant labour	après labour	après cover crop	après cultivateur	stade montaison
0-10 (cm)	10,49	4,63	6,22	3,85	4,89
10-20 (cm)	13,97	6,5	11,75	12,95	12,62
20-26 (cm)	7,5	8,05	12,34	14,47	13,8

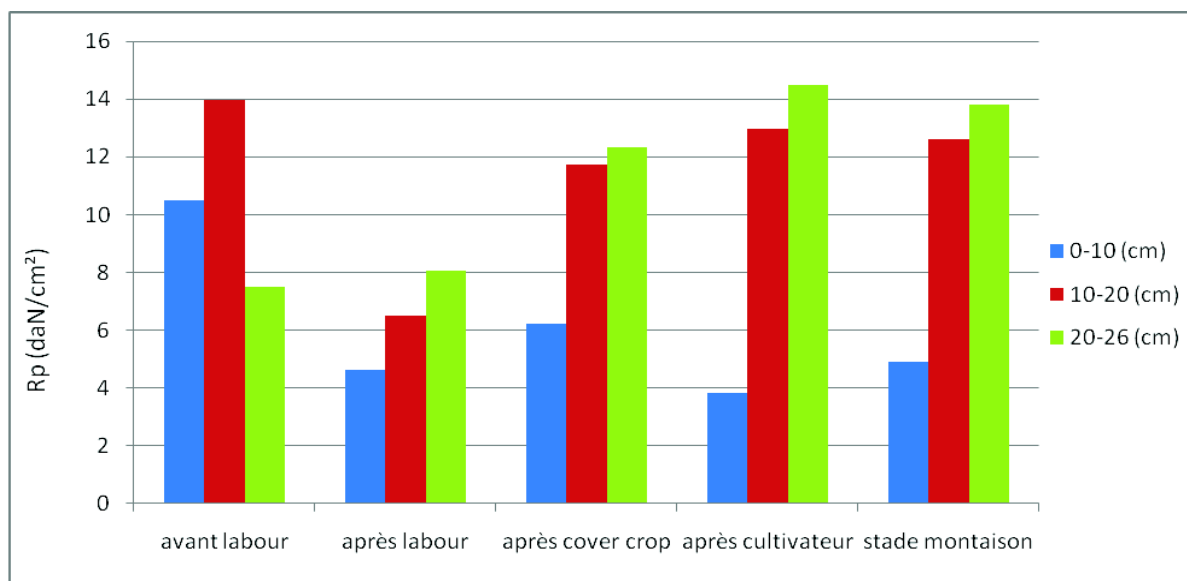


Figure 7.4: évolution de la résistance pénétrométrique en relation avec la profondeur et l'outil utilisé.

Cette figure montre que la résistance pénétrométrique du sol est modifiée par l'outil aratoire utilisé. Nous constatons qu'après passage des outils aratoires, la résistance pénétrométrique du sol :

- Diminue fortement après le labour, remonte légèrement après le cover crop et diminue encore après le passage du cultivateur à dents et remonte légèrement au stade montaison et ce pour le premier horizon (entre 0-10 cm).
- Pour le deuxième horizon, compris entre 10-20 cm les valeurs de la résistance pénétrométrique sont plus importantes et suivent la même évolution sauf qu'après le passage du cultivateur à dents la valeur de Rp augmente légèrement elle passe de 11.75 à 12.95 daN/cm².
- Pour ce qui est du troisième horizon, la valeur de la résistance pénétrométrique est plus faible avant le labour, elle n'est que de 7.5 daN/cm², puis augmente progressivement pour atteindre une valeur de 14.47 daN/cm² et diminue légèrement après le développement de la culture (stade montaison) ce qui est justifié par les nombreux passages du tracteur.

7.4. Relation résistance pénétrométrique du sol avec sa porosité et sa teneur en eau

L'analyse statistique de l'évolution de la résistance pénétrométrique en fonction de la porosité totale (n) et la teneur en eau (w) du sol a donné les résultats suivants :

Tableau 7.5_: La résistance pénétrométrique en relation avec la porosité et la teneur en eau.

	avant labour	après labour	après cover – crop	après cultivateur	stade montaison
Rp (daN/cm²)	10,65	6,39	10,1	10,42	10,44
n (%)	40,4	49,38	51,02	52,65	47
w (%)	12,02	16,37	13,44	11,01	11,54

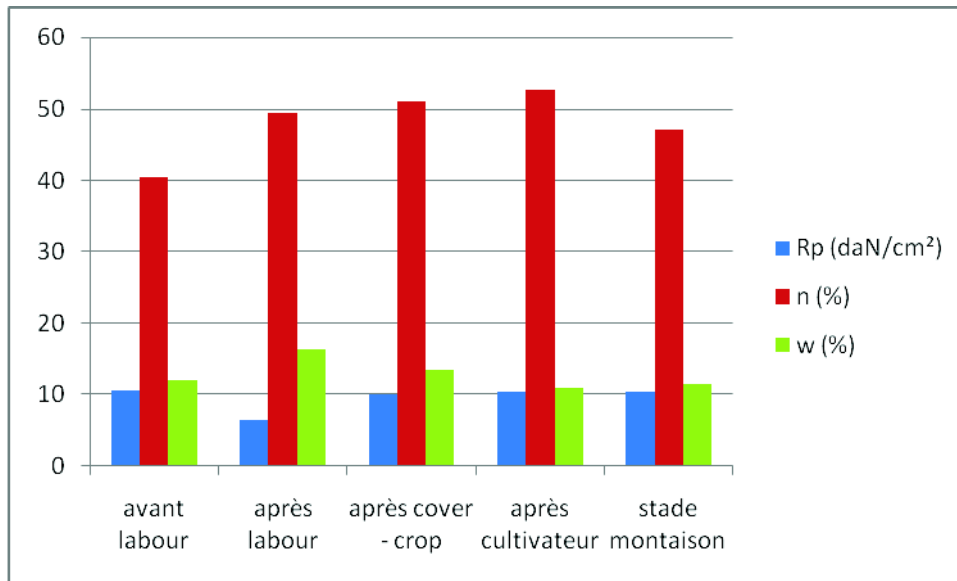


Figure 7.5: évolution comparée de Rp, de n et w avant et après passage des outils aratoires.

L'analyse par régression multiple, mettant en relation la variable dépendante Rp avec les variables indépendantes w et n, a donné la relation suivante :

$$Rp \text{ (daN/cm}^2\text{)} = 21,86 - 0,793 w - 0,041 n \quad \text{avec } R^2 = 0,876 \quad (7)$$

Cette relation montre que la teneur en eau a plus d'effet que la porosité sur la valeur de la résistance pénétrométrique. Pour mettre en évidence cet effet une quantification de l'effet de l'humidité du sol sur la résistance pénétrométrique a été réalisée.

La régression polynomiale du second ordre donnant la relation entre la résistance pénétrométrique (Rp) et la teneur en eau dans le sol (w) a permis l'obtention du modèle ci-dessous :

Tenant compte de la valeur de $p = 0,013$ inférieure à 0,05 dans le tableau de l'analyse de la variance, le modèle établi montre que la relation entre Rp et w est fortement significative à un niveau de confiance de 95%. Le coefficient de détermination $R^2 = 0,9998$ montre que le modèle est expliqué à 99,98 %. Nous en concluons donc que la résistance pénétrométrique est fortement influencée par la teneur en eau dans le sol. D'où l'importance de choisir correctement le moment d'intervention avec les pièces travaillantes. La résistance pénétrométrique commence à diminuer à partir de la teneur en eau $w = 12\%$. Cette relation est illustrée par la figure suivante :

$$Rp = - 19,763 + 5,096.w - 0,213.w^2 \quad (8)$$

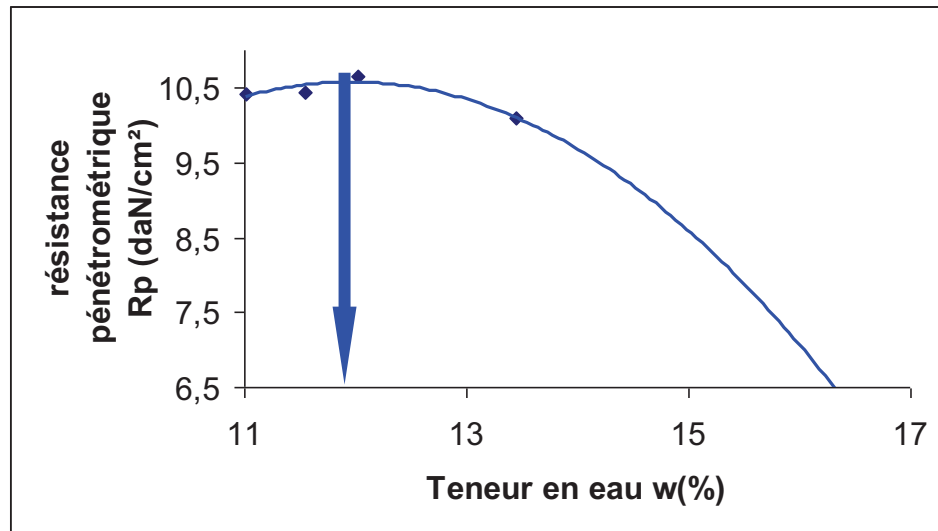


Figure 7.6: relation résistance pénétrométrique R_p avec la teneur en eau w .

7.5.L'émiettement de surface

Pour la caractérisation de l'émiettement de surface de notre sol après le passage des différents outils aratoires, la méthode des photos a été utilisée, elle illustre correctement l'effet des pièces travaillantes sur l'état du sol.

Après les premières observations on peut constater que :

- Les grosses mottes sont observées après le labour, après le passage du cover – crop la taille des mottes a été nettement réduite, cette réduction est due essentiellement à l'action des disques et des dents.
- L'effet des outils aratoires est hautement significatif pour les mottes étudiées.
- Le type du matériel de préparation du sol, sa conduite, la nature et l'humidité du sol sont les principaux facteurs qui déterminent le taux d'émiettement d'un sol donné.

Nous illustrons ci-dessous l'état de surface du sol avant et après l'action des différentes pièces travaillantes.



Figure 7.7 : état de la surface avant labour.

L'échelle :

Hauteur : 498 pixels

Largeur : 523 pixels

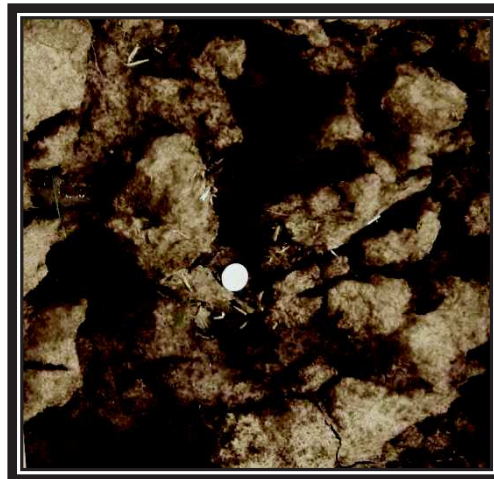


Figure 7.8 : état de la surface après labour.

L'échelle :

Hauteur : 514 pixels

Largeur : 534 pixels

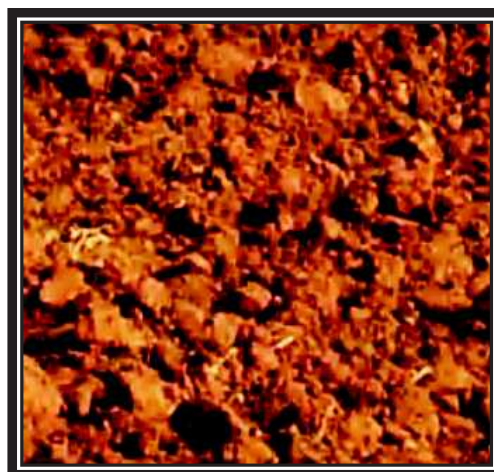


Figure 7.9 : état de la surface après passage du cover - crop.

L'échelle :

Hauteur : 305 pixels

Largeur : 333 pixels



L'échelle :

Hauteur : 312 pixels

Largeur : 338 pixels

Figure 7.10 : état de la surface après passage du cultivateur a dents.

En conclusion, il faut que le choix des outils soit convenable pour la culture, tout dépendra bien évidemment de la taille des semences. Pour le blé par exemple, la taille des graines maximum ne dépasse pas 0,5 cm, il faut avoir un lit de semence contenant au moins 30% à 40% d'élément dont le diamètre est égal au plus à celui de la graine.

7.6. Etude de la compressibilité du sol

Avec l'introduction des nouvelles techniques sans labour, le risque majeur qui affecte l'agriculture moderne est le tassement des sols agricoles, ce dernier commence à prendre de l'ampleur dans le monde, il cause la réduction du volume poral dans le sol ce qui se répercutera négativement sur développement racinaire. Le compactage des sols agricoles est causé principalement par la circulation de la machinerie entre autre les tracteurs agricole, c'est dans ce contexte qu'on va étudier la compressibilité du sol, dans le but de faire ressortir l'effet des pneumatiques des tracteurs agricoles sur la structure du sol et son influence sur le tassement.

Pour cela, nous avons effectué un test au laboratoire, qui a pour but de déterminer la sensibilité des sols au tassement, ce test consiste à placer un échantillon de sol remanié dans des cylindres et faire varier le taux d'humidité dans chaque cylindre. Le sol est compacté dans chaque cylindre à l'aide d'un piston, on calcul alors la pression exercée et la densité apparente et on trace la courbe de variation de la masse volumique apparente ρ_{app} (g/cm^3) en fonction de l'humidité w (%) qui est illustré dans la figure 7.11.

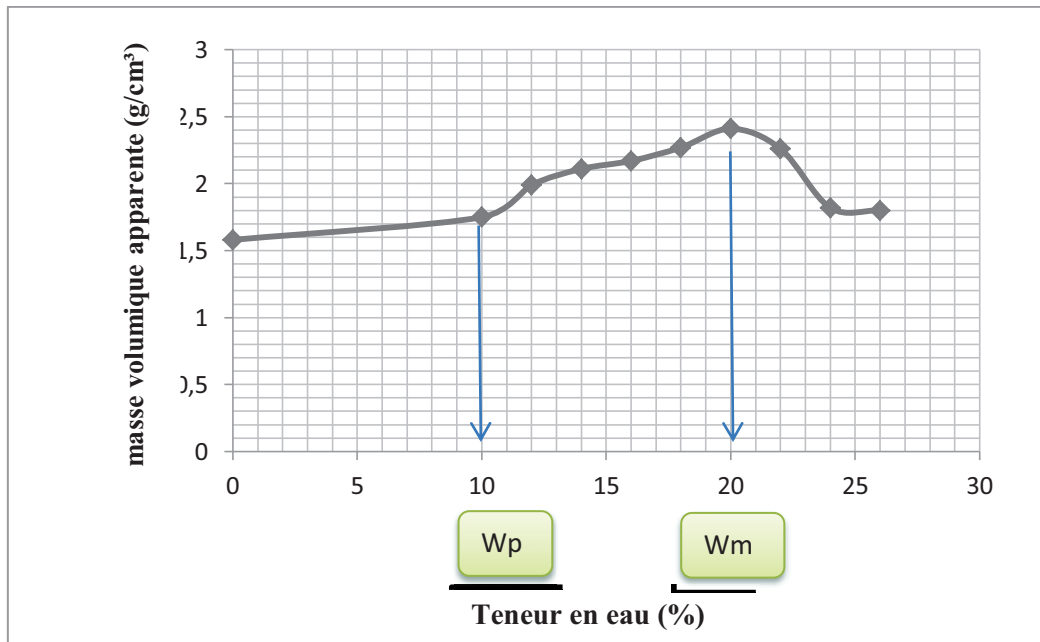


Figure 7.11 : courbe de compactage

Avec : W : teneur en eau en %.

W_p : teneur en eau au seuil de sensibilité au compactage en %.

W_m : teneur en eau optimale en %.

La figure ci-dessus représente la variation de la masse volumique apparente en fonction de l'humidité, GUERIF l'a caractérisé comme étant la courbe de compactage du sol.

On peut interpréter la courbe en trois phases :

- Première phase : $W < W_p$

Dans cette partie de la courbe, la densité atteinte reste faible et peu variable avec la teneur en eau. Le tassement résulte du réarrangement et éventuellement du concassage des agrégats placés dans le moule.

- Deuxième phase: $W_p < W < W_m$:

Au seuil de teneur en eau W_p , la pente de la courbe s'accroît brusquement. Les agrégats deviennent déformables sous l'effet des contraintes qu'ils subissent et ceci d'autant plus qu'ils sont plus humides. La porosité qui existait entre eux disparaît progressivement. La masse volumique apparente atteinte est de $2,41 \text{ g/cm}^3$ qui est proche de la masse volumique réelle, ce qui veut dire que la porosité est proche de 0. Pour certains matériaux, si l'énergie

appliquée est suffisante, on peut observer un tassement textural. FAURE a qualifié ce comportement de plastique et assimile le seuil de sensibilité au compactage W_p à un seuil d'entrée en plasticité.

- Troisième phase : $W < W_m$:

La fin du domaine plastique est marquée par l'existence d'un maximum de densité appelée optimum Proctor. Au delà de ce maximum, la densité décroît. Alors l'échantillon est saturé. L'eau étant incompressible, on peut le tasser davantage, et plus la teneur en eau est grande moins on peut le tasser. La relation teneur en eau – masse volumique apparente est hyperbolique et la courbe représentative est appelée hyperbole de saturation.

Pour ce qui est de l'effort appliqué sur le sol, on a exercé des grandes pressions qui sont allé jusqu'à 9 (daN/cm²), le but est de préciser l'influence des pneumatiques sur le tassement du sol, on enregistre alors une augmentation de ρ_{as} allant jusqu'à 2,41 ce qui est vraisemblablement néfaste pour les sols agricoles. D'après des essais antérieurs, les sols labourés sont capables de supporter des pressions allant de 0,8 à 1 bar sans dommage en condition ressuyée. Au-dessus de cette limite, ils commencent à se tasser. La pression que reçoit le sol n'est pas directement la charge de l'engin, mais la pression exercée par le pneu. Cette pression est égale à la pression de gonflage à laquelle on ajoute le coefficient de rigidité de la carcasse du pneu. Autrement dit, un pneu de tracteur gonflé à 0,6 bar exerce une pression au sol de 0,8 bar : la différence provient de la rigidité du pneu.

On peut conclure alors que la déformation du sol qui entraîne le tassement est directement liée aux distributions des contraintes normales et des contraintes de cisaillement à l'interface pneu - sol. Le développement de ces dernières est fonction de la forme des pneus, de leur gonflage et de l'état du sol.

Pour réduire le phénomène de tassement des sols il faut :

- Connaître la charge par essieu et les pneus. Il faut gonfler les pneus à la bonne pression.
- Augmenter la taille des pneus et diminuer la pression de gonflage.
- Utiliser les pneus jumelés, plutôt que simples, demande une pression de gonflage moins élevée
- Eviter les lourdes charges car elles compactent le sol en profondeur.

- Les conditions du sol sont plus importantes que tout choix de matériel ou de pneu.

Conclusion

En conclusion, cette première étude montre clairement l'effet des opérations du travail du sol, sur l'évolution de la résistance pénétrométrique du sol, de la porosité et de l'humidité du sol. Les résultats obtenus confirment aussi l'effet de la teneur en eau du sol sur le comportement physique et mécanique du sol, sous l'action des différents outils aratoires utilisés.

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

La résistance pénétrométrique est une donnée utile pour évaluer la force de résistance qu'opposera le sol au développement des racines. Il est cependant nécessaire de rappeler que ce paramètre est très influencé par la teneur en eau du sol.

Cette étude est un constat qui a mis en évidence l'action des outils aratoires sur l'évolution de l'état structural du sol, à cet effet il était nécessaire d'approfondir cette étude, mais en utilisant d'autres techniques culturales, l'une dite « travail minimum », comportant les outils à dents tels que le chisel et le cultivateur à dents, en guise de remplacement de la charrue classique, et l'autre dite semis direct », ou le travail du sol est totalement supprimé, le tout est appelé techniques culturales simplifiées. et c'est ce qui va être abordé au prochain chapitre à savoir l'analyse du comportement du sol sous l'action de trois techniques culturales qui sont le travail du sol classique, le travail minimum et le semis direct, incidence sur le développement racinaire et conséquences sur le rendement du blé dur.

Chapitre 8 :

*Analyse de l'effet des techniques
culturales sur les propriétés du sol
(Humidité, porosité, résistance
pénétrométrique)*

Chapitre 8 : Analyse de l'effet des techniques culturales sur les propriétés du sol (Humidité, porosité, résistance pénétrométrique)

Introduction

Au niveau de ce chapitre, il s'agira de mettre en évidence les effets des techniques culturales sur l'humidité du sol, sur la porosité et la résistance pénétrométrique.

Après une analyse globale, pour une première observation, une analyse statistique permettra ensuite une quantification de ces effets pour chacune des techniques, les effets seront illustrés par des relations de la forme $R_p = f(H\%, n\%)$.

8.1. Effet des techniques culturales sur l'humidité du sol

8.1.1. Variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les deux techniques culturales non traitées à l'herbicide (TCNT et SDNT)

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 deux techniques culturales non traitées sont mentionnés sur la figure 8.1.

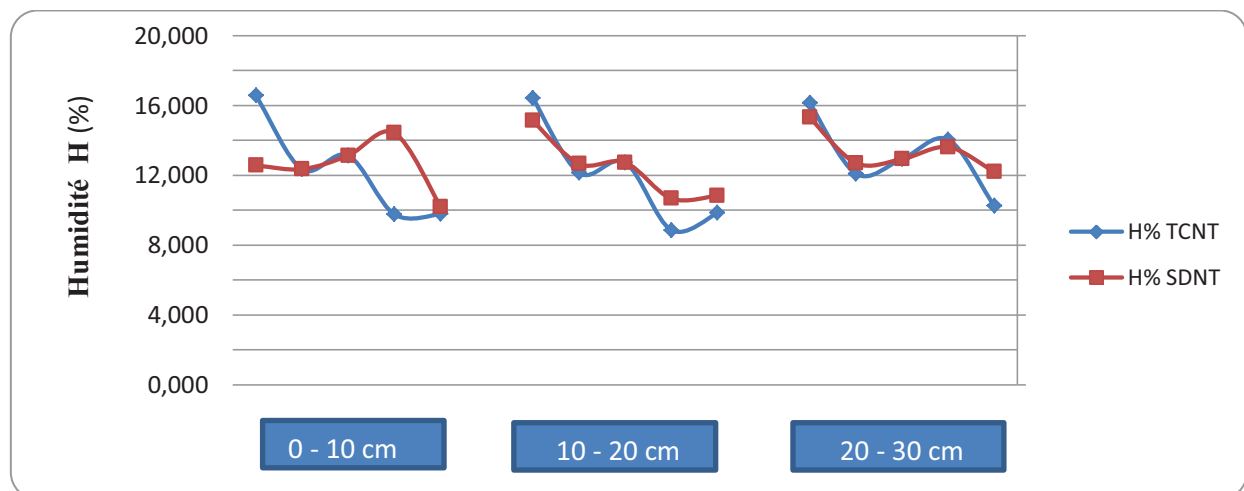


Figure 8.1: Variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les deux techniques culturales non traitées

La figure ci-dessus représente la variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les deux techniques culturales non traitées à l'herbicide

Avec :

S1 : stade levé

S2 : stade tallage

S3: stade épiaison

S4: stade floraison

S5 : stade maturation

D'après la figure ci-dessus, on constate qu'au premier stade, l'humidité est meilleure sur les trois horizons dans parcelles travaillées. D'autres parts, le taux d'humidité atteint son maximum au niveau du premier stade pour le T.C, il a atteint la valeur de 16,55% ; l'écart enregistré dans ce stade de la teneur en eau de la technique du semis direct par rapport à la valeur du conventionnel est de 4%.

On remarque toutefois au niveau des stades 2 et 3 un rapprochement entre les deux courbes. Les valeurs d'humidité sont proches, la conservation d'eau a été la même pour les deux techniques. C'est au stade 4 ou l'humidité atteint sa plus basse valeur dans les parcelles travaillées, on enregistre 9.79 %, alors que pour le semis direct elle atteint son maximum avec 14,42 %. Au niveau du stade 5, l'humidité reste meilleure dans les parcelles menées en semis direct.

8.1.2. Variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les deux techniques culturales traitées à l'herbicide (TCT et SDT)

Les résultats de la variation de la teneur en eau du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les deux techniques culturales traitées sont illustrés par la figure 8.2.

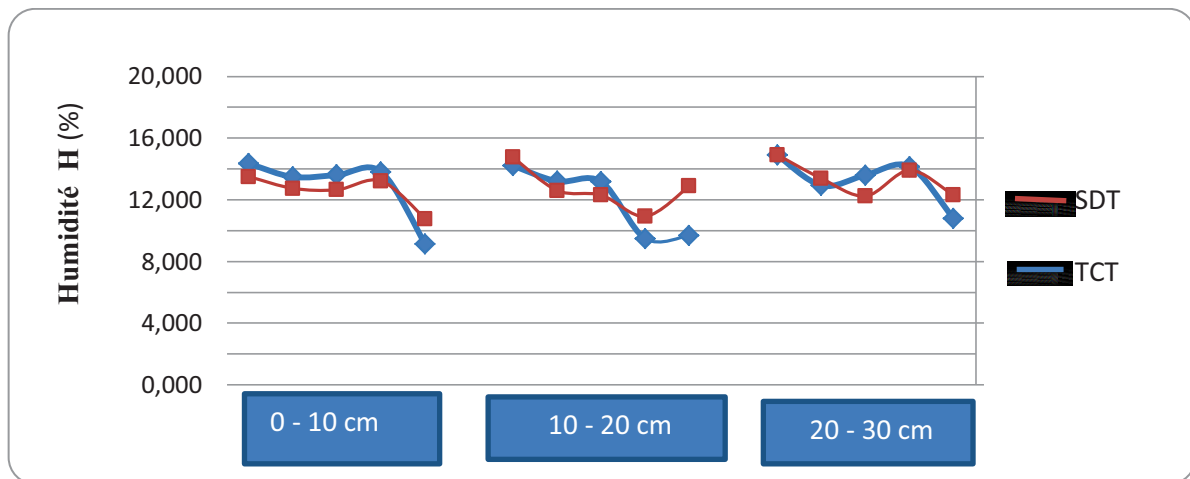


figure 8.2 : la variation de l'humidite du sol en relation avec la profondeur et le stade vegetatif pour les deux techniques culturales traitees

D'après la figure 8.2, les valeurs de l'humidité obtenus sont proches entre TCT et SDT avec des différences de 2% au maximum, ce constat est valable pour tous les stades végétatifs du blé sauf le stade maturation ou on enregistre des baisses considérables d'humidité du sol au niveau des parcelles travaillées allant jusqu'à 4% pour les trois horizons.

Toutefois, on remarque que les valeurs de l'humidité sont moins importante par rapport au parcelles infestées en mauvaises herbes, ceci peut-être expliqué par le fait que la présence des mauvaises herbes limite l'évaporation du sol et créer une certaine humidité dans le sol.

De façon générale, les résultats des essais menés sur des sols limoneux, montrent que l'évolution de l'humidité du sol est similaire pour la Technique Conventionnelle et le Semis Direct, avec une légère différence au niveau des derniers stades de la culture ou le semis direct enregistre une meilleure conservation de l'eau.

8.1.3. Variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour trois techniques culturales (conventionnelle, minimum, semis direct)

Après avoir analysé les résultats relatifs à l'humidité du sol pour deux techniques culturales qui sont le semis direct et le travail du sol classique conventionnel, nous avons élargi notre étude en ajoutons une troisième technique qui fait partie des T.C.S à savoir le travail du sol minimum. Et les résultats obtenus relatifs à l'humidité du sol sur trois stades de la culture du blé dur et trois horizons montrent que la variation de la teneur en eau au niveau des trois profondeurs est relativement la même d'un stade à un autre. Au stade végétatif

épiaison, la teneur en eau est légèrement plus importante, ce qui est intéressant pour la culture. Les figures qui suivent illustrent la variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour trois techniques culturales (conventionnelle, minimum, semis direct) :

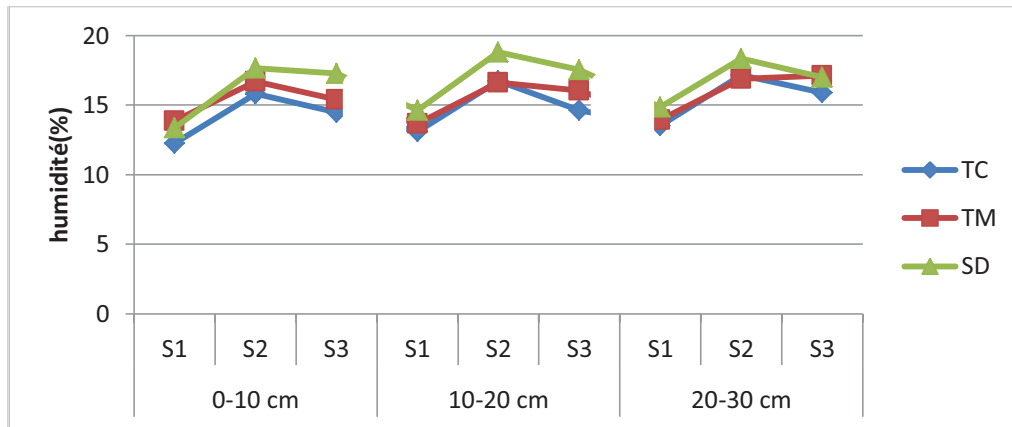


Figure 8.3: variation de l'humidité du sol en fonction de la profondeur et le stade de la culture.

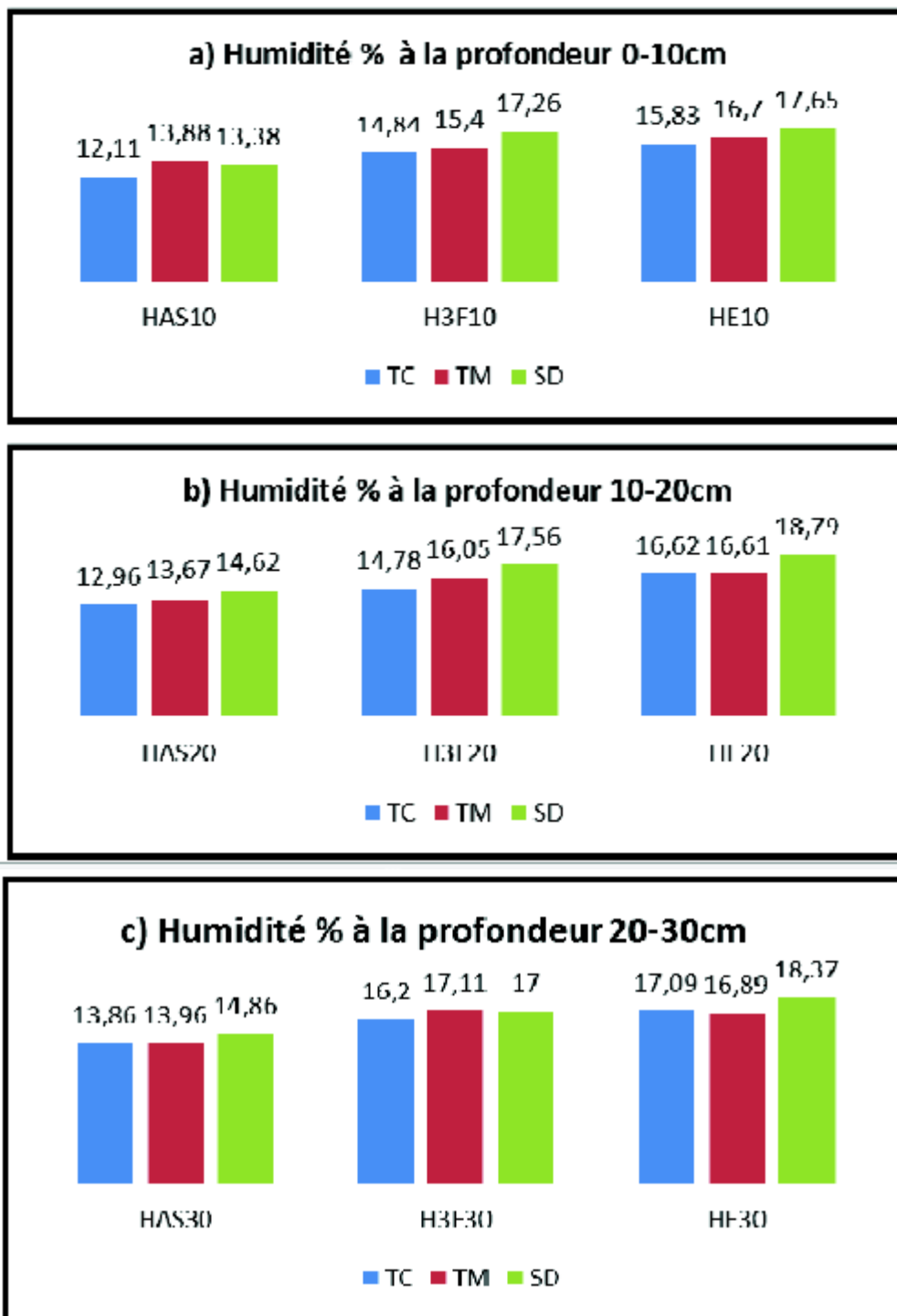


Figure 8.4 : Teneur en eau du sol (%) à différentes profondeurs et pour chaque technique. (HAS : avant semis, H3F : stade 3 feuilles, HE : stade épiaison)

S1 : avant semis, S2 : stade trois feuilles, S3 : stade épiaison

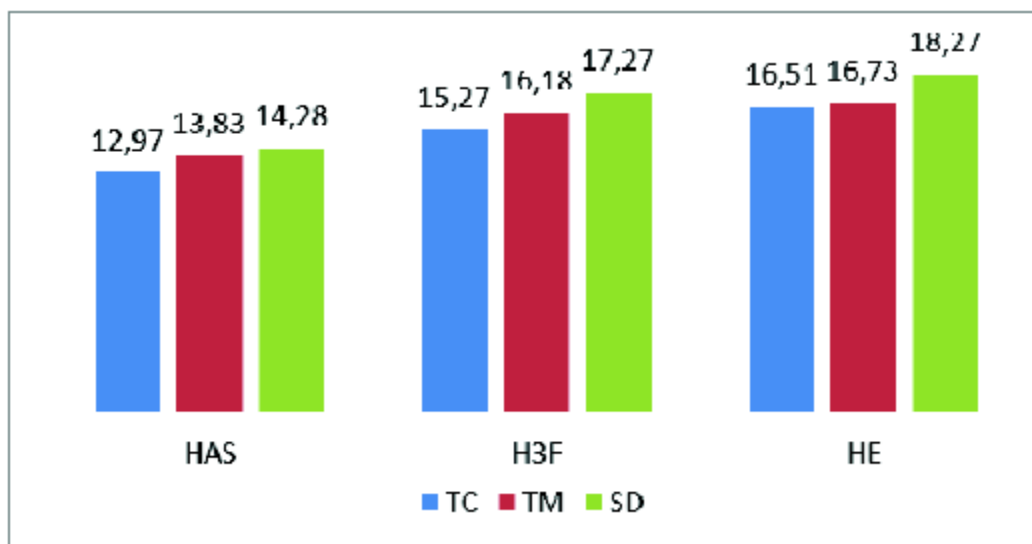


Figure 8.5 : Evolution de la teneur moyenne en eau (%) pour chaque technique et chaque stade

De façon générale, les essais menés sur des sols argileux, montrent que la teneur en eau dans le sol est plus importante sur les parcelles Semis direct. L'humidité du sol varie en augmentant légèrement en fonction de l'évolution de la culture, la présence des racines est évidemment à prendre en considération. La teneur en eau passe de 12,97 % avant le semis à 16,51 % au stade épiaison pour les parcelles labourées (TC) ; elle passe de 13,83 % à 16,73 % pour les parcelles de la TM et de 14,28 % à 18,27 sur les parcelles du semis direct.

Autre constat à retenir, est que la rétention d'eau semble être similaire dans les deux sites d'études, cela peut être expliqué par la texture du sol au site 2 qui est de classe loam limoneux, qui est caractérisée par une bonne rétention d'eau.

8.2.Effet des techniques culturales sur la porosité

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, la taille des pores y compris.

8.2.1. Variation de la porosité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les deux techniques culturales traitées

Le deuxième paramètre analysé est la porosité, ce dernier conditionne pour une grande partie la rétention d'eau par le sol, l'aération des racines, et leur progression dans le sol. L'analyse de l'effet du travail conventionnel et du semis direct sur la densité apparente et sur la porosité pour le blé traité à l'herbicide est représentée dans la figure 8.6.

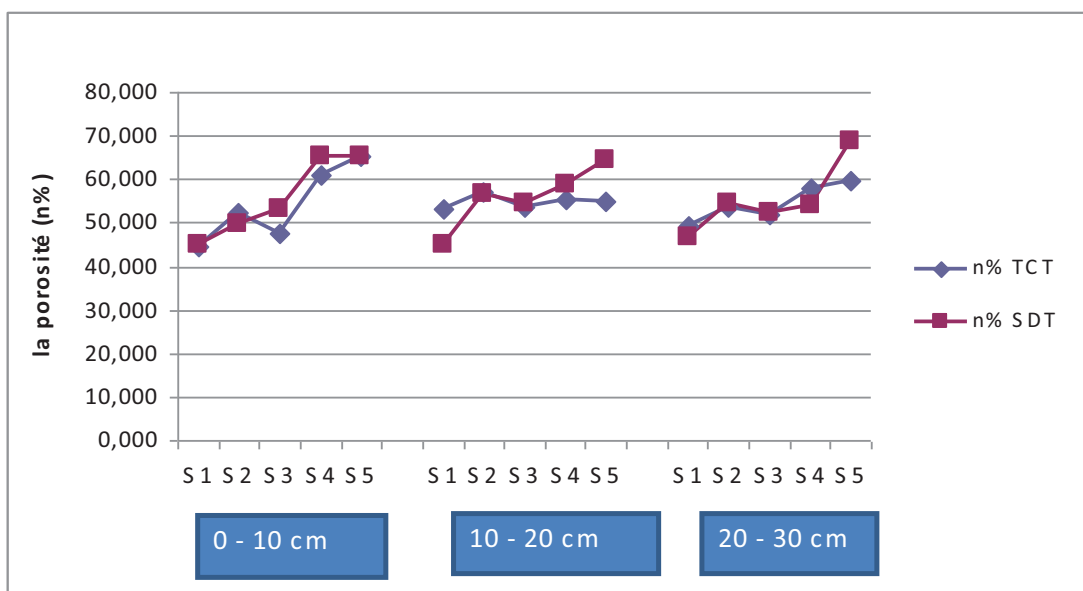


Figure 8.6 : Variation de la porosité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les deux techniques culturales traitées

La figure ci-dessus représente la variation de la porosité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les deux techniques culturales traitées

Dans notre cas, et pour le premier horizon, nous constatons un accroissement accru de la porosité du premier au dernier stade pour les deux techniques, l'écart par rapport à la valeur initiale est de 20,83% pour le travail conventionnel et 20,33% pour le semis direct. On peut

constater également que les valeurs sont généralement rapprochés entre eux avec un léger avantage pour le semis direct au niveau du stade 3 et 4.

Pour le deuxième horizon, on peut remarquer que la porosité se stabilise entre les valeurs de 53 et 57% pour les sols travaillés ; alors qu'on enregistre une augmentation de la porosité allant de 44 % jusqu'à 64% pour les sols où on a pratiqué le semis direct.

Pour le troisième horizon, le constat est le même que le deuxième horizon excepté la valeur maximale de la porosité pour le semis direct est de 69%.

Globalement le degré de porosité augmente fortement du premier au cinquième stade et contribue pour un bon développement de la plante.

Par ailleurs, puisque 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.

8.2.2. Variation de la porosité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les deux techniques culturales non traitées

L'analyse de la porosité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les deux techniques culturales non traitées est représentée dans la figure suivante :

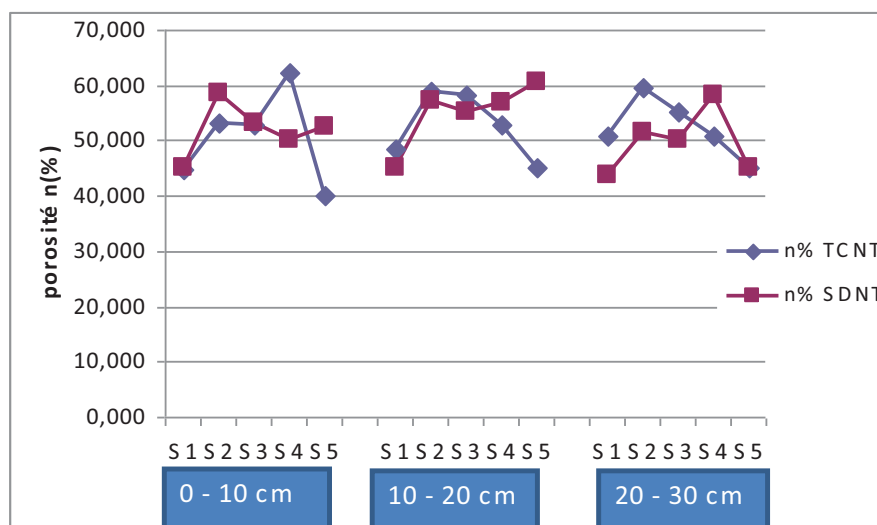


Figure 8.7 : Variation de la porosité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les deux techniques culturales non traitées

L'analyse de ces résultats montre que :

Pour le premier horizon, on constate que la porosité augmente dans les sols travaillés du 1^{er} stade jusqu'au 4^{ème} stade ou on enregistre une valeur maximale de 62%, à partir de ce stade la porosité chute sensiblement ou elle atteint une valeur de 40%.

Pour le semis direct le constat est à peu près le même juste que la porosité commence à chuter à partir du deuxième stade atteignant une valeur de 52%.

Pour ce qui est de la comparaison entre les deux techniques on peut dire que la porosité des travaillés est meilleure pour les trois premiers stades ; tant dis qu'à partir du 4^{ème} stade la porosité du semis direct est beaucoup meilleure.

Pour le deuxième horizon, on constate que la porosité augmente dans les sols travaillés du 1^{er} stade jusqu'au 3^{ème} stade ou on enregistre une valeur maximale de 58%, à partir de ce stade, la porosité chute sensiblement ou elle atteint une valeur de 45%.

Pour le semis direct on enregistre un accroissement accru de la porosité tout au long du cycle de la plante, l'écart par rapport à la valeur initiale est de 15,53%.

Pour ce qui est de la comparaison entre les deux techniques on peut dire que la porosité des sols en semis direct est meilleure dans les sols limoneux.

8.2.3. Variation de la porosité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les trois techniques culturales (TC, TM, SD)

En faisons une analyse un peu plus poussée avec l'introduction d'une troisième technique qui est le travail minimum, on a pu constater d'après les résultats obtenus que la porosité est plus importante au niveau du premier horizon (0-10 cm), et ce pour le trois techniques. Au niveau du semis direct la porosité paraît homogène pour les deux derniers horizons (10-30 cm), ce qui n'est pas le cas de la technique conventionnelle et de la technique du travail minimum.

Les figures suivantes illustrent l'évolution de la porosité pendant trois stades sous trois techniques :

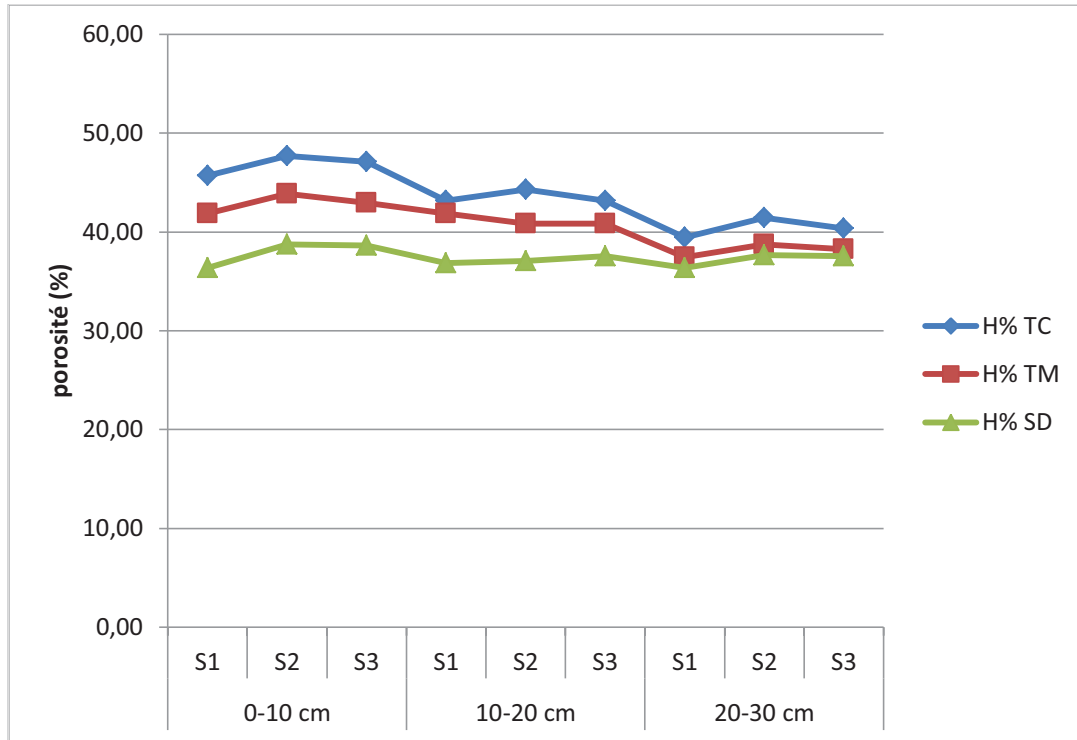


Figure 8.8 : Variation de la porosité du sol en fonction de la profondeur du sol et le stade du blé dur

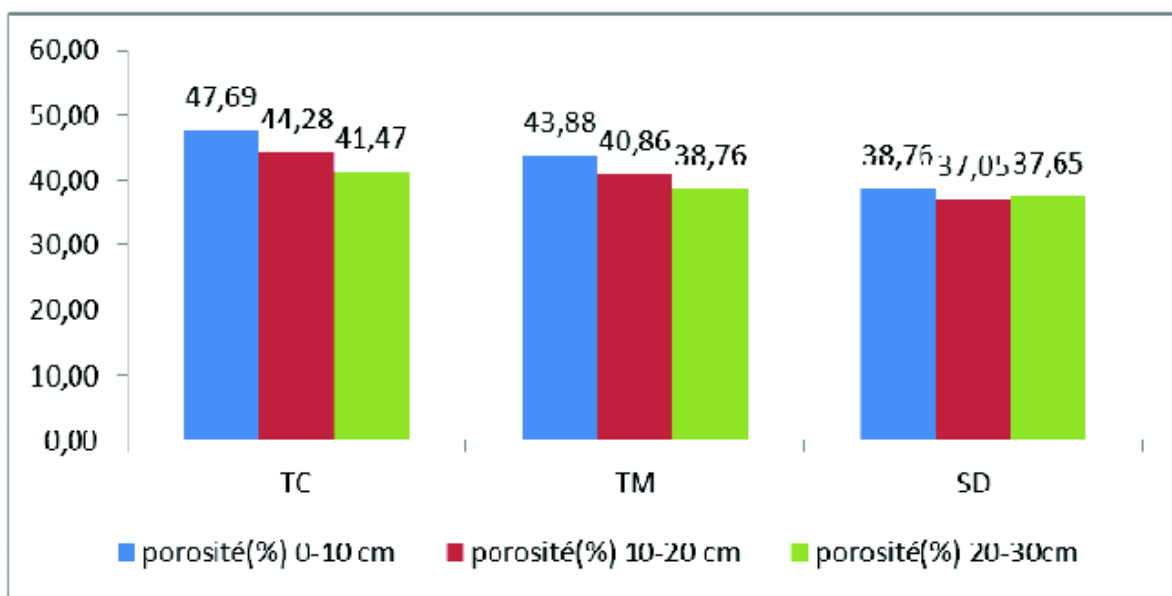


Figure 8.9: Evolution de la porosité en relation avec la profondeur

et pour chaque technique de mise en place de la culture

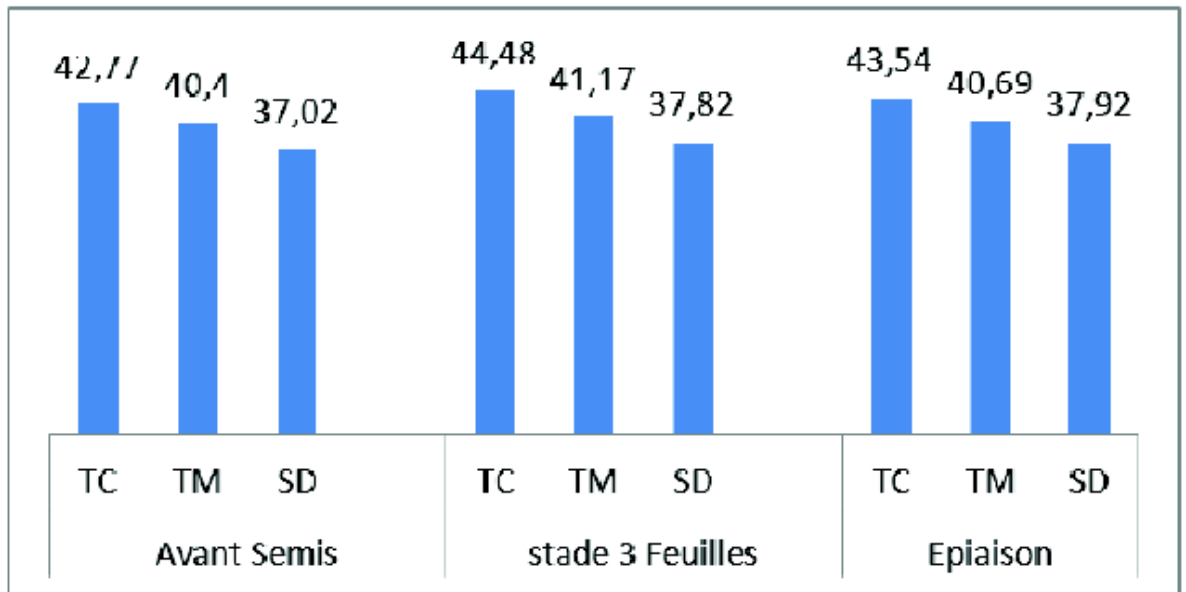


Figure 8.10: Porosité moyenne en fonction du stade végétatif et de la technique.

Les résultats montrent bien que la porosité obtenue au stade trois feuilles, est fonction de la technique utilisée. La porosité diminue de la technique TC à la technique SD en passant par une moyenne pour la technique TM. La porosité diminue aussi avec la profondeur. Au niveau des parcelles du semis direct nous constatons une homogénéité de la porosité du sol sur presque tout le profil ; ce qui n'est pas le cas des autres parcelles où la porosité est plus importante en surface.

8.3.Effet des techniques culturales sur la résistance pénétrométrique

8.3.1. Variation de la résistance mécanique du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les deux techniques culturales traitées

La mesure de la résistance pénétrométrique au moyen d'un pénétromètre est l'un des indicateurs fréquemment utilisés pour donner un aperçu sur l'état de compaction du sol et la contrainte qu'oppose le sol à la progression des racines. Les premières observations sur l'évolution de la résistance pénétrométrique du sol en relation avec la profondeur et le stade

végétatif pour les deux techniques culturales traitées (TCT et SDT) sont mentionnées sur la figure 8.9.

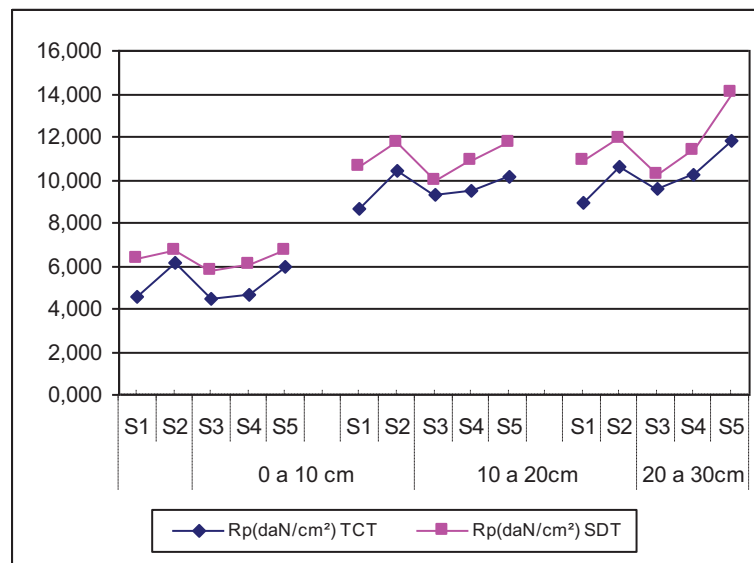


Figure 8.11 : Variation de la résistance mécanique du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les deux techniques culturales traitées

La figure ci-dessus représente la variation de la résistance mécanique du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les deux techniques culturales traitées.

Cette figure montre que la résistance pénétrométrique du sol est modifiée par l'outil aratoire utilisé. Nous constatons que la résistance pénétrométrique du sol :

- Augmente fortement au niveau du stade 2, diminue au niveau du stade 3 et 4 et remonte au dernier stade du cycle de la plante, ce constat est fait pour les deux techniques juste que la résistance mécanique du sol est nettement supérieure dans les sols menés en semis direct, 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).
- Pour le deuxième horizon, compris entre 10-20 cm les valeurs de la résistance pénétrométrique sont plus importantes et suivent la même évolution pour les sols menés en semis direct et semis classique, la valeur maximale de Rp dans les sols

travaillés avoisine 10,45 (daN/cm²) contre 6,13 (daN/cm²) pour le premier horizon, alors que du côté des sols menés en semis direct la valeur maximale de Rp est de 11,71 (daN/cm²) contre 6,74 (daN/cm²) pour le premier horizon.

- Pour ce qui est du troisième horizon, le constat est le même que le deuxième juste que la valeur de Rp atteint 14,08 (daN/cm²) au niveau du stade 5 pour les sols menés en semis direct. La résistance mécanique est beaucoup plus importante pour les sols menés en semis direct.

Globalement cette figure montre clairement l'effet du passage des différents outils aratoires sur la résistance pénétrométrique du sol, la résistance mécanique est beaucoup plus élevée dans les sols menés en semis direct par rapport à ceux travaillés avec la méthode conventionnelle. Elle est toujours élevée au niveau du dernier stade végétatif pour les trois horizons et pour les deux techniques culturales ; tant dit qu'elle diminue sensiblement au niveau du troisième stade.

8.3.2. Variation de la résistance mécanique du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les deux techniques culturales non traitées (TCNT et SDNT)

Les premières observations sur l'évolution de la résistance pénétrométrique du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les deux techniques culturales non traitées sont mentionnées sur la figure 8.10.

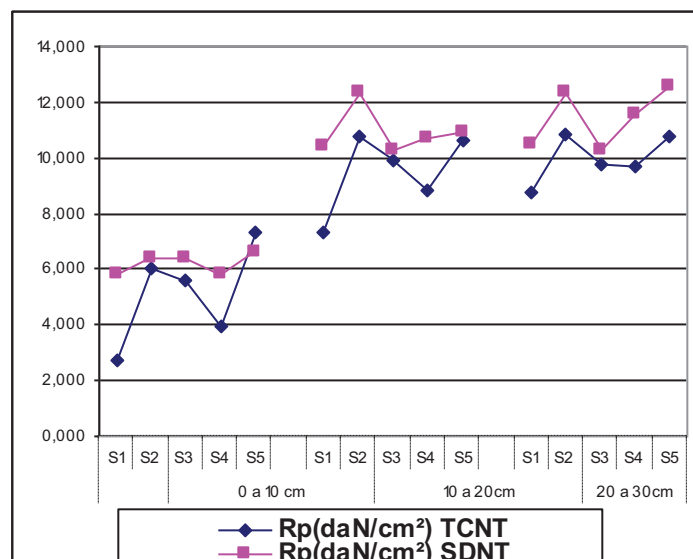


Figure 8.12 : Variation de la résistance mécanique du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les deux techniques culturales non traitées

Cette figure montre que la technique culturale a un effet sur la résistance mécanique du sol, on pourra déduire d'après cette figure que la résistance pénétrométrique :

- Augmente fortement au niveau du stade 2, diminue au niveau du stade 3 et 4 et remonte au dernier stade du cycle de la plante, ce constat est fait pour les deux techniques juste que la résistance mécanique du sol est nettement plus supérieure dans les sols menés en semis direct, ça 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).
- Pour le deuxième horizon, compris entre 10-20 cm les valeurs de la résistance pénétrométrique sont plus importantes et suivent la même évolution pour les sols menés en semis direct et semis classique, la valeur maximale de R_p dans les sols travaillés avoisine 10,87 (daN/cm²) contre 7,31 (daN/cm²) pour le premier horizon alors que du côté des sols menés en semis direct la valeur maximale de R_p est de 12,31 (daN/cm²) contre 6,63 (daN/cm²) pour le premier horizon.
- Pour ce qui est du troisième horizon, le constat est le même que le deuxième juste que la valeur de R_p atteint 10,83 (daN/cm²) au niveau du stade 5 pour les sols menés en semis direct. La résistance mécanique est beaucoup plus importante pour les sols menés en semis direct.

8.3.3. Variation de la résistance mécanique du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les trois techniques culturales (TC, TM, SD)

Les résultats relatifs à la résistance pénétrométrique consignés dans le tableau 8.1, montrent que celle-ci augmente de la Technique Conventionnelle à la Technique du Semis Direct.

Tableau 8.1 : Résistance pénétrométrique en relation avec la technique et la profondeur

Traitement	Rp	profondeur (cm)
TC	13,75	19,4
TM	15,09	15,05
SD	15,84	14,02

Elle passe respectivement de la valeur de 13,75 daN / cm² pour la technique conventionnelle (TC) à 15,09 daN / cm² pour le travail minimum (TM) puis atteint la valeur de 15,84 daN / cm² pour le semis direct (SD). La pointe du pénétromètre pénètre plus en profondeur sur la parcelle travaillée avec la méthode conventionnelle (19,4 cm) ensuite sur les parcelles avec travail minimum à 15,05 cm puis ensuite la profondeur atteint 14,02 cm pour le semis direct.

Ces résultats nous permettent de dire que les racines se développeront plus facilement sur les parcelles travaillées avec la charrue (TC). Les racines au niveau du semis direct rencontreraient un obstacle bien avant que celles de la technique 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. Effet de la porosité et de l'humidité sur la résistance pénétrométrique (tous paramètres confondus), ainsi que l'impact des techniques culturales sur la résistance

Mécanique du sol.

8.4. Analyse statistiques 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 8.2 : la variation de la moyenne de chaque paramètre pour les quatre traitements.

Variable	Observations	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation
H (TCT)	15	9,134	14,897	12,702	1,92	0,15
H (SDT)	15	10,771	14,915	12,877	1,163	0,09
H (TCNT)	15	8,86	16,555	12,468	2,519	0,2
H (SDNT)	15	10,191	15,322	12,763	1,489	0,11
n (TCT)	15	44,391	65,23	54,473	5,316	0,09
n (SDT)	15	44,897	68,601	55,563	7,608	0,13
n (TCNT)	15	40,08	62,275	51,849	6,345	0,12
n (SDNT)	15	43,611	60,59	52,157	5,579	0,1
Rp (TCT)	15	4,444	11,78	8,333	2,467	0,29
Rp (SDT)	15	5,723	14,08	9,667	2,636	0,26
Rp (TCNT)	15	2,694	10,834	8,197	2,618	0,31
Rp (SDNT)	15	5,829	12,53	9,526	2,538	0,26

Ce tableau nous donne la variation de la moyenne de chaque paramètre pour les quatre traitements. 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 du traitement et des différents stades végétatifs. Les valeurs de ce coefficient montrent :

- **Pour l'humidité**

La variation de l'humidité en fonction de la profondeur et des stades végétatifs est bien apparente dans le cas de TCT et TCNT, elle est moins importante dans SDNT et pratiquement négligeable dans SDT.

Donc l'humidité varie dans les sols travaillés et traités d'une manière significative, le coefficient de variation est de 0,15 ; cela peut nous conduire à dire que le travail du sol modifie l'humidité du sol.

Outre les sols travaillés et traités, au niveau de ceux non traités, l'humidité varie elle aussi, le coefficient de variation est de 0,20.

Pour ce qui est du semis direct non traité elle est moins importante avec un coefficient de variation de 0,11 alors que pour le semis direct traité elle est pratiquement négligeable avec un coefficient de 0,09.

- **Pour la porosité**

La porosité semble être pratiquement homogène dans le cas de TCT, contrairement au SDT où le coefficient de variation est de 0,13 ; donc la porosité varie sensiblement dans les sols menés en semis direct et traités par l'herbicide. On constate aussi une variation importante pour TCNT.

- **Pour la résistance pénétrométrique**

Dans le cas du travail conventionnel on constate, que la variation de la Rp diffère entre TCT et TCNT. Ce qui montre que le traitement a un effet sur la résistance pénétrométrique.

Elle varie d'une manière importante dans les sols travaillés et non traités où on trouve un coefficient de variation égale à 0,31 ; elle varie aussi au niveau des sols travaillés et traités par l'herbicide.

Pour ce qui est du semis direct traité ou non traité la résistance mécanique ne change pas dans les deux cas ; le coefficient de variation est de 0,26.

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

Le tableau ci-dessous (matrice des corrélations est intéressant à présenter car il met en évidence les relations entre les différents paramètres étudiés.

Tableau 8.3: représentation des corrélations entre les différents paramètres [H(%), n (%), Rp (daN/cm²)]

	H%	H%	H%	H%	n%	n%	n%	n%	Rp(d aN/c m ²)	Rp (daN /cm ²)	Rp(d aN/c m ²)	Rp (daN/ cm ²)
	TCT	SDT	TCNT	SDN T	n% TCT	n% SDT	TCN T	SDN T	TCT	SDT	T	SDN T
H%												
TCT	1											
H%												
SDT	0,762	1										
H%												
TCNT	0,800	0,765	1									
H%												
SDNT	0,868	0,852	0,686	1								
n%	-	-										
TCT	0,560	0,441	-0,689	0,330	1							
	-	-										
n% SDT	0,736	0,598	-0,895	0,540	0,787	1						
n%												
TCNT	0,447	0,116	-0,074	0,387	0,067	0,092	1					
n%	-	-										
SDNT	0,362	0,419	-0,504	0,525	0,260	0,280	0,198	1				

Rp(daN/cm²)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TCT	0,226	0,037	-0,139	0,074	0,231	0,193	0,057	0,127						1
Rp (daN/cm²) SDT	0,207	0,121	-0,090	0,010	0,187	0,186	0,002	0,007	0,983					1
Rp (daN/cm²) TCNT	0,323	0,120	-0,262	0,198	0,299	0,284	0,090	0,292	0,939	0,884				1
Rp (daN/cm²) SDNT	0,133	0,129	-0,050	0,029	0,162	0,116	0,122	0,079	0,979	0,977	0,916			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.

8.4.1.1.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 et le traitement en herbicide utilisé. Les coefficients de corrélations indiquent pour l'humidité une bonne corrélation entre les différents cas (TCT, TCNT, SDT, SDNT). Les coefficients sont supérieurs à 68%. 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 fortement influencée par la technique choisie et le traitement ou non.

La porosité semble être très différente entre les différents cas, à l'exception de TCT et SDT qui sont corrélés. Le coefficient de corrélation est de 78%. Ce qui veut dire que l'effet de la technique culturale est hautement significatif sur ce paramètre qui est la porosité.

Les coefficients de corrélations sont très importants pour la résistance pénétrométrique. Ainsi on enregistre une forte corrélation entre Rp des différents traitements

et techniques ce qui nous amené à détailler un peu plus cette analyse, et d'étudier l'effet de la technique culturale sur Rp et l'effet du traitement d'herbicide sur ce paramètre.

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

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

Il est à remarquer donc que la résistance pénétrométrique est plus importante au niveau des parcelles du semis direct, le développement des racines est donc moins important à ce niveau ; ce qui nous a conduit 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 en premier les différentes corrélations entre Rp (TCT) et Rp (SDT) d'une part et Rp (TCNT) et Rp (SDNT) d'une autre part, et d'étudier ensuite dans le prochain chapitre les conséquences sur le développement racinaire et le rendement.

8.4.2.1. Matrice de corrélation entre les différentes valeurs de Rp

Cette matrice de corrélation montre la puissance de la corrélation entre les différentes valeurs de la résistance pénétrométrique

Tableau 8.4 : les corrélations entre différentes valeurs de Rp

	Rp (SDNT)	Rp (SDT)	Rp (TCNT)
Rp (SDNT)			
Rp (SDT)	0.9766		
	(15)		
	0.0000		
Rp (TCNT)	0.9162	0.8842	
	(15)	(15)	
	0.0000	0.0000	
Rp (TCT)	0.9794	0.9827	0.9390
	(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**

Cette table montre la puissance de corrélation entre des paires des variables étudiées, dans notre cas cette variable est la résistance pénétrométrique du sol sous différents traitements : technique culturale et traitement des mauvaises herbes. Ces coefficients de corrélation (r) varient entre -1 et +1 et 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 Rp 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 et le traitement des mauvaises herbes ont des effets certains sur la résistance pénétrométrique et par conséquent sur le développement des racines.

Les paires suivantes ont des valeurs de p inférieures à 0,05 :

1- Rp (SDT) et Rp (TCT) $r = 0.9827$

2 -Rp (SDNT) et Rp (TCT) $r = 0.9794$

3- Rp (SDNT) et Rp (SDT) $r = 0.9766$

4- Rp (TCNT) et Rp (TCT) $r = 0.9390$

5- Rp (SDNT) et Rp (TCNT) $r = 0.9162$

6 -Rp (SDT) et Rp (TCNT) $r = 0.8842$

De façon générale, cela signifie que les effets de la technique culturale (travail conventionnel et semis direct) et du traitement par destruction des mauvaises herbes, sont très hautement significatifs.

8.4.2.1.1. La corrélation entre Rp pour TCT et Rp pour SDT

D'après l'analyse de la corrélation on constate qu'il y a une forte corrélation entre Rp TCT et Rp SDT.

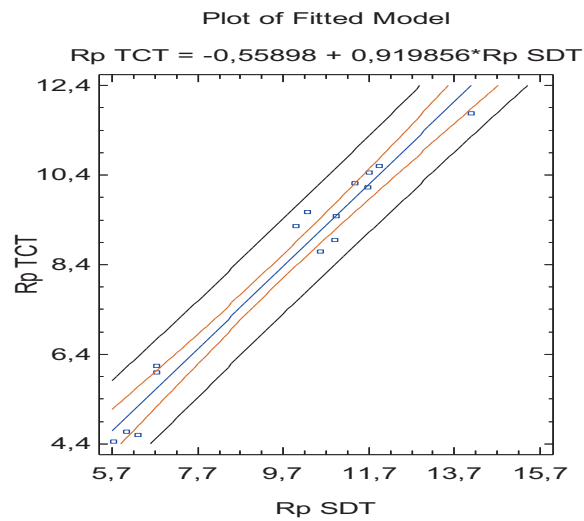


Figure 8.13 : courbe représentant La corrélation entre Rp TCT et Rp SDT

L'analyse par régression linéaire, mettant en relation la variable Rp TCT avec la variable Rp SDT, a donné la relation suivante :

$$R_p \text{ (TCT)} = - 0,56 + 0,92 * R_p \text{ (SDT)} \quad R^2 = 96,58$$

(9)

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 mécanique du sol en relation avec le stade végétatif et la profondeur, que les parcelles travaillées avec la charrue à socs, présentent une faible résistance à la pénétration du cône, donc moins compactes, par rapport à celles non travaillées.

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 (TCT) et Rp (SDT) est fortement significative a un niveau de confiance de 95%. Le coefficient de détermination $R^2 = 0,9657$ montre que le modèle est expliqué a 96.57 %. Le coefficient de corrélation est égal à 0,98, 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.

8.4.2.1.2. La corrélation entre Rp TCNT et Rp SDNT

D'après l'analyse de la corrélation on constate qu'il y a une forte corrélation entre Rp TCNT et Rp SDNT.

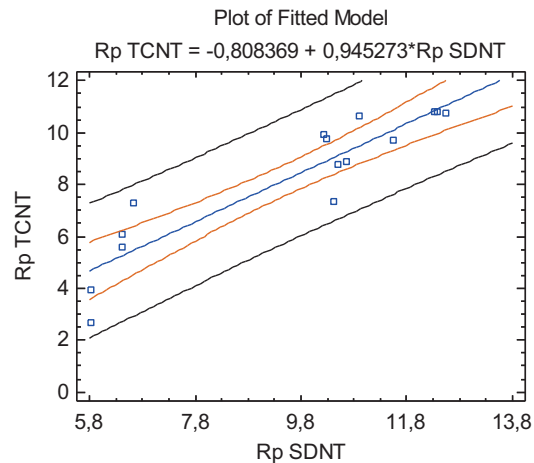


Figure 8.14 : courbe représentant La corrélation entre Rp TCNT et Rp SDNT

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

$$R_p \text{ (TCNT)} = -0,81 + 0,94 * R_p \text{ (SDNT)} \quad R^2 = 83,93 \quad (10)$$

Cette relation montre clairement à l'image de la première relation, que la résistance mécanique est modifiée par le travail du sol, ce dernier, à un effet diminutif ; et on constate que la résistance pénétrométrique dans les sols menés en semis direct est supérieure à celle de la technique conventionnel, 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 R_p (TCNT) et R_p (SDNT) est fortement significative à un niveau de confiance de 95%. Le coefficient de détermination $R^2 = 0,8393$ montre que le modèle est expliqué à 83.93 %. Le coefficient de corrélation est égal à 0,91 indiquant une relation relativement forte entre les variables.

8.5. Analyse de l'effet de la porosité et de l'humidité sur la résistance pénétrométrique

8.5.1. La technique conventionnelle traitée

L'analyse par régression multiple, mettant en relation la variable dépendante R_p avec les variables indépendantes w et n , a donné les relations suivantes :

$$R_p (\text{TCT}) = - 4,40 + 0,56 H + 0,10 n \quad (11)$$

ces relations montrent que la teneur en eau a plus d'effet que la porosité sur la valeur de la résistance pénétrométrique.

Donc la résistance pénétrométrique diminue avec l'augmentation de la teneur en eau dans le sol ce qui permet une bonne pénétration des racines.

8.5.2. La technique conventionnelle non traités

L'analyse par régression multiple, mettant en relation la variable dépendante R_p avec les variables indépendantes w et n , a donné la relation suivante :

$$R_p (\text{TCNT}) = 11,95 + 0,006*n - 0,31*H \quad (12)$$

Cette relation montre aussi que la teneur en eau a plus d'effet que la porosité sur la valeur de la résistance pénétrométrique.

Donc la résistance pénétrométrique est fortement influencée par la teneur en eau dans le sol. D'où l'importance de choisir correctement le moment d'intervention avec les pièces travaillantes.

8.5.3. Le semis direct traité

L'analyse par régression multiple, mettant en relation la variable dépendante R_p avec les variables indépendantes w et n , a donné les relations suivantes :

$$R_p (\text{SDT}) = -12,74 + 0,19*n + 0,94*H$$

(13)

On constate d'après ces relations que l'humidité influence fortement la résistance mécanique du sol.

8.5.4. Semis direct non traité

L'analyse par régression multiple, mettant en relation la variable dépendante R_p avec les variables indépendantes w et n , a donné la relation suivante :

$$R_p (\text{SDNT}) = 10,59 - 0,01*n - 0,02*H$$

(14)

On constate d'après cette relation que l'humidité et la porosité ont pratiquement le même effet sur la résistance pénétrométrique.

Dans les parcelles Traitées, il y a donc moins de mauvaises herbes dans le sol donc moins de racines de mauvaises herbes, le sol moins humide ce qui augmentera la résistance pénétrométrique du sol.

Conclusion

Au travers de ces observations, il apparaît nettement que les principaux paramètres étudiés sont influencés par la technique culturale choisie, dans notre cas la technique

conventionnelle et la technique du semis direct. Des résultats similaires ont été obtenu pour l'humidité, alors que la porosité est beaucoup plus stable pour le semis direct sur le long des horizons, Rp est beaucoup plus importante dans les parcelles menées en semis direct. Reste à confirmer si ces résultats ont des incidences sur le développement racinaire et le rendement final du blé dur, et ce qui fera l'objet du prochain chapitre.

Chapitre 9 :

*Analyse de l'effet des techniques culturales
sur le développement racinaire et
conséquences sur le rendement du blé dur*

Chapitre 9 : Analyse de l'effet des techniques culturales sur le développement racinaire et conséquences sur le rendement du blé dur

Introduction

Au niveau de ce chapitre, nous nous focaliseront sur la partie végétale, on analysera l'incidence des techniques culturale sur les racines et le rendement du blé dur. L'étude va porter sur l'évolution de la densité et le diamètre racinaire, et le rendement pour chaque technique tout en s'appuyant sur l'analyse statistique qui nous permettra certainement à dégager l'effet des différentes techniques à mettre en place sur le développement des racines et les conséquences sur le rendement.

9.1.Effet des techniques culturales sur le développement racinaire

9.1.1. Analyse de la densité racinaire pour TCT et SDT

Pour les trois derniers stades où le développement des racines est à son optimum, les résultats obtenus, montrant la densité racinaire dans le sol, sont consignés et illustrés respectivement dans le tableau 9.1 et par la figure 9.1.

Les valeurs sont exprimées en g/06dm³ :

Tableau 9.1 : variation de la densité racinaire pour les quatre traitements

Stades	TCT	SDT	TCNT	SDNT
S3	17,444	17,278	15,778	7,556
S4	50,667	30,111	15,111	6,556
S5	68,222	37,389	20,611	9,944

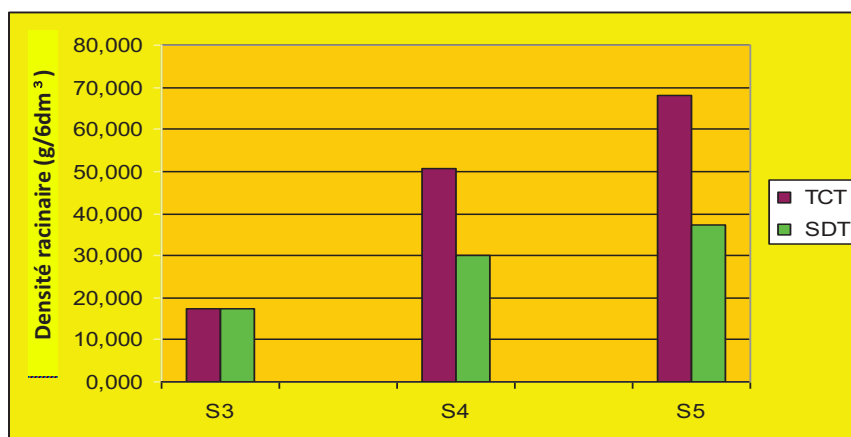


Figure 9.1 : variation de la densité racinaire pour le travail conventionnel et semis direct traités

Cette figure montre clairement que la densité racinaire est nettement supérieure dans les sols travaillés conventionnellement. Au niveau du stade de l'épiaison, on remarque que la densité racinaire est pratiquement la même pour le TCT et SDT ; ou on enregistre des valeurs avoisinant les 17 (g/06dm³).

Pour le stade S4, le constat est tout à fait différent, puisque la densité racinaire est nettement supérieure au niveau des sols travaillés où on enregistre une valeur de 50,66 (g/6dm³) contre 31,11 (g/6dm³) pour les sols non travaillés, cela signifie que la croissance racinaire a été meilleure dans les sols labourés.

Pour le stade 5, le constat est tout à fait similaire, sauf que les valeurs de la densité sont beaucoup plus importantes, ce qui est normal en fin de développement de la culture. La valeur de la densité est de 68 (g/6dm³) pour TCT et 37(g/6dm³) pour le semis direct. ces résultats signifient que la croissance des racines ralentit dans les parcelles non travaillées, avec une augmentation de 6 g/6dm³. Contrairement aux parcelles travaillées, ou la densité racinaire a augmenté de 18 g/6dm³.

Cette nette supériorité de la densité au niveau des sols travaillés peut être expliquée par l'effet de la technique culturale puisque elle modifie la structure du sol par l'action des pièces travaillantes des outils aratoires, contrairement au semis direct qui a pour principal inconvénient le tassement de la zone arable du sol.

9.1.2. Analyse de la densité racinaire pour TCNT et SDNT

Dans le cas des conditions de non traitement des parcelles à l'herbicide, la variation des densités racinaires pour TCNT et SDNT est illustrée dans la figure suivante :

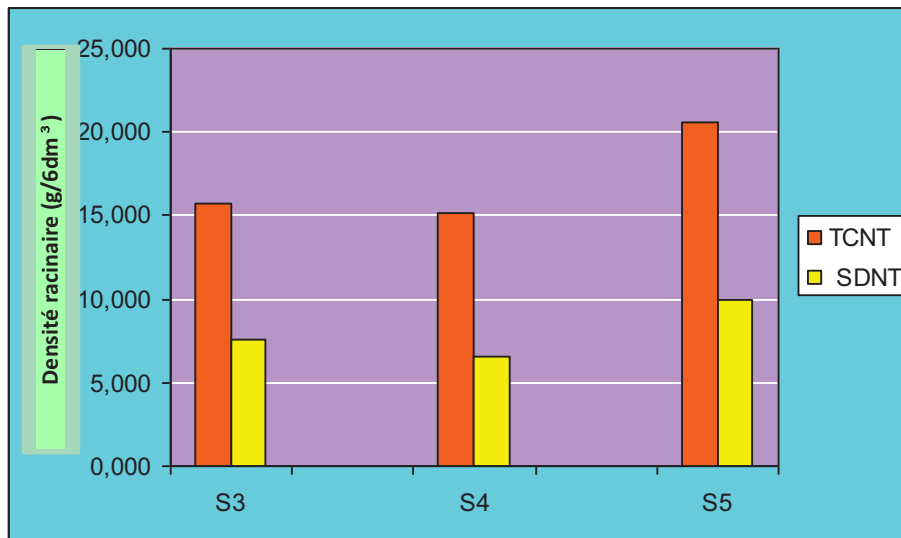


Figure 9.2 : variation de la densité racinaire pour le travail conventionnel et semis direct non traités

En première observation, cette figure montre clairement que la densité racinaire est nettement supérieure dans les sols labourés, cependant, les valeurs de la densité sont beaucoup moins importantes que celles enregistrées au niveau des parcelles traitées à l'herbicide.

Au niveau du stade S3 correspondant à l'épiaison, on enregistre une augmentation sensible de la densité racinaire dans les sols labourés avec 15 (g/6dm³) contre 7 (g/6dm³) pour les sols non travaillés.

Pour le stade S4, le constat est tout à fait le même, puisque la densité racinaire est nettement supérieure au niveau des sols travaillés où on enregistre une valeur de 15,6 (g/6dm³) contre 6 (g/6dm³) pour les sols non travaillés.

Pour le stade S5, le constat est tout à fait le même à part que les valeurs de la densité sont beaucoup plus importantes. La valeur de la densité atteint 20 (g/6dm³) pour TCT et 9 (g/6dm³) pour le semis direct

En conclusion, on peut dire que la croissance racinaire est favorisée par une bonne structure ; dans les systèmes labourés, la structure du sol est principalement créée par les

opérations de travail du sol tandis que dans les systèmes non travaillés (semis direct) la structure est principalement créée par l'action du climat (en surface dans les régions tempérées) et par des processus biologiques.

Cependant, une application à long terme du semis direct peut se manifester par des couches superficielles du sol se réchauffant plus lentement et présentant une plus forte résistance à la pénétration des racines en comparaison avec des sols travaillés conventionnellement. Ceci peut donner lieu à un ensemble de conditions de croissance défavorables durant la période de développement des cultures au niveau du semis direct.

Un des rôles essentiels donc du travail du sol est de faciliter la croissance des racines dans un milieu contraignant, pour cela, le travail du sol permet souvent de diminuer la résistance mécanique du sol à la pénétration des racines à travers une amélioration de sa structure et par conséquent, de son humidité. Il améliore aussi l'aération du sol, facilitant les échanges gazeux au niveau de la racine. Cependant une structure trop poreuse est à éviter.

Le bon développement racinaire des cultures est le garant non seulement de leur productivité mais surtout de leur tolérance aux aléas climatiques.

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 racines, grâce auxquelles se fera l'alimentation en eau et en éléments minéraux durant tout le cycle de développement de la plante.

9.2. Analyse du développement racinaire pour TC, TM, SD

Les résultats relatifs au développement des racines pour les trois techniques culturales (TC, TM, SD), montrent nettement que le système racinaire est très développé sur les parcelles labourées (TC) où la densité racinaire est de 1,101 g/dm³, ensuite c'est celui des parcelles travaillées avec le chisel (TM) où cette densité est de 0,805 g / dm³. Au niveau des parcelles du semis direct (SD) nous avons la valeur la plus faible de la densité des racines qui est de 0,638 g / dm³.

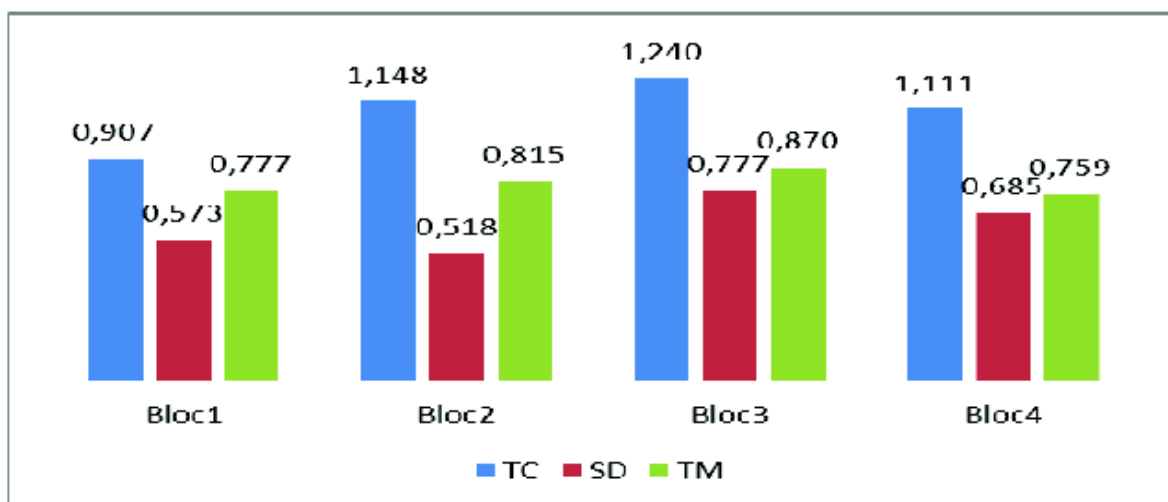


Figure 9.3: Densité des racines (g/dm³) pour chaque technique au niveau des quatre blocs

Tableau 9.2: Valeurs moyennes de la densité et des diamètres des racines dans le sol pour chaque technique

Techniques	Densités moyennes (g/18 dm ³)	diamètre des racines (mm)
TC	19,83	1,38
TM	14,5	1,14
SD	11,5	1,10

Nous remarquerons également que les diamètres des racines sont plus importants sur les parcelles travaillées avec la méthode classique la moyenne des diamètres est de 1,38 mm, ensuite les diamètres des racines pour les deux autres techniques sont relativement proches l'un de l'autre, mais toujours dans le même ordre il est de 1,14 mm pour le TM et de 1,10 mm pour le SD. Les racines se développent donc mieux dans un sol labouré.

D'après les résultats des deux sites, on peut constater que la croissance racinaire était meilleure dans les sols à texture loam limoneux par rapport aux sols argileux, avec les mêmes chaînes d'outils de préparation du sol.

9.3. Incidence des techniques culturales (travail conventionnel, travail minimum et semis direct) sur le rendement et ses composantes

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

Une analyse va permettre de dégager les effets des techniques culturales à savoir le labour, le minimum et le semis direct sur les paramètres de production de la culture (rendement et composantes du rendement). L'examen de ces effets va s'appuyer sur un certain nombre d'hypothèses concernant les conséquences possibles d'un non travail du sol sur l'implantation et le fonctionnement de la culture, en se référant à celles jusqu'ici émises.

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

- Nombre de plants/m² à la levée
- Le poids de mille grains; (g)
- Le nombre de grain par épi;
- Le nombre d'épi par mètre carré;
- Et le rendement estimé en grain. (Qx/ha)

9.3.1. L'incidence des techniques culturales sur le nombre de plants/m²

Le premier paramètre analysé lié à la culture est le nombre de plants par mètre carré au stade levé, la figure suivante illustre ce paramètre :

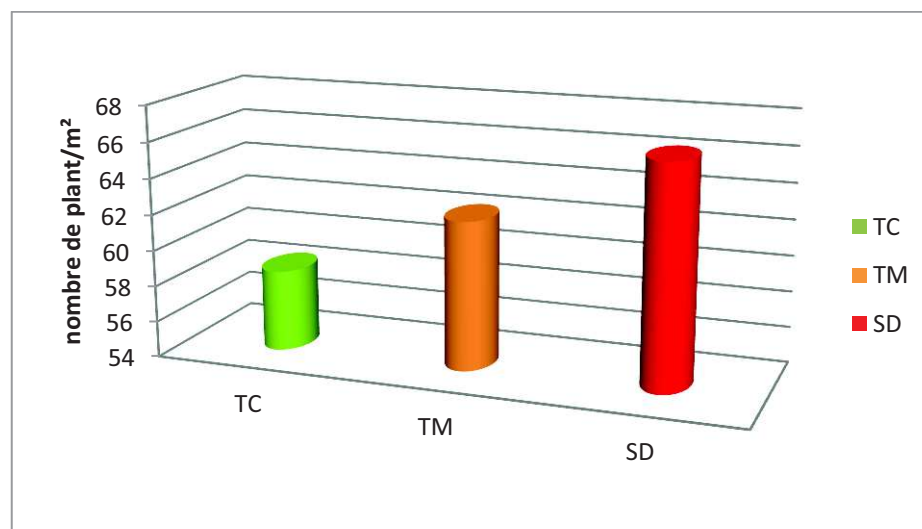


Figure 9.4 : le nombre de plants/m² pour les trois techniques culturales

D'après ces résultats obtenus, il semble que les trois techniques culturales permettent des taux de levée allant de 58 plants/m² pour TC au 66 plants/m² pour SD, alors que la technique minimum enregistre 62 plants/m².

Le semis direct favorise une meilleure levée de la culture par rapport au TC et TM, cela peut être due à la non perturbation du sol, le semis est localisé, il permet donc un bon contact sol – graine, ajouter à cela l'humidité du sol qui est plus élevée et qui favorise la levée des plants.

9.3.2. L'incidence des techniques culturales sur le poids de mille grains

Les figures ci-dessous représentent la variation du poids de mille grains pour les deux techniques utilisées à savoir le travail conventionnel et le semis direct :

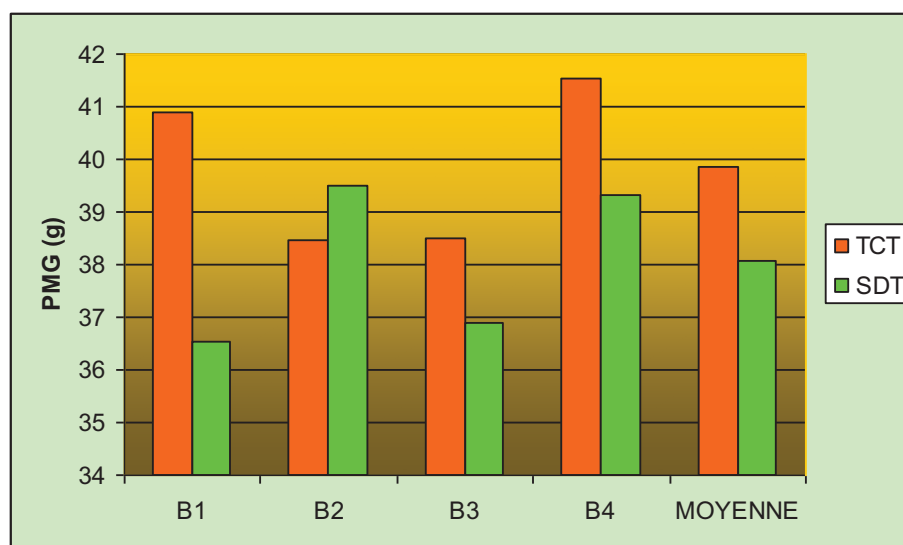


Figure 9.5 : variation de PMG pour les deux techniques avec traitement d'herbicide

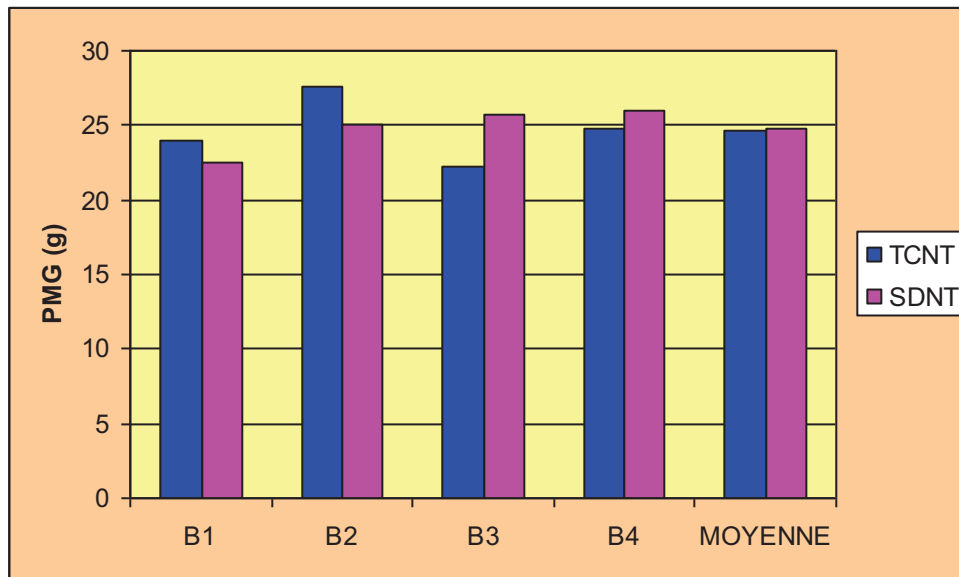


Figure 9.6 : variation de PMG pour les deux techniques sans traitement d’herbicide

Ce que nous pouvons constater en premier lieu dans les figures est l’effet de la technique culturale sur le poids de mille grains. Pour la première figure, où nous avons pratiqué les deux techniques sans traitement, il apparaît que le poids de mille grains est légèrement meilleur pour les parcelles travaillées par rapport à celles non travaillées, la valeur moyenne enregistrée pour le T.C est de 39,84 g, alors que celle obtenue pour le semis direct est de 38,06 g.

Pour la deuxième figure, où les parcelles n’ont pas été traitées par l’herbicide, le poids de mille grains est pratiquement le même pour les deux techniques avec une légère infériorité pour le T.C ou on enregistre une moyenne de 24,68 g contre 24,81 g pour le semis direct.

9.3.2.1. L’analyse de la variance de l’effet des techniques culturales sur le PMG

D’après l’analyse de la variance, les deux techniques culturales n’ont pas eu d’incidence significative sur l’expression de cette composante.

Tableau 9.3 : analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	1	0,051	0,051	0,007	0,942
Erreur	2	15,094	7,547		
Total corrigé	3	15,145			

9.3.3. L'incidence des techniques culturales sur le nombre de grains par épi

Les deux figures ci-dessous illustrent la variation du nombre de grains par épi pour les deux techniques culturales qui sont le travail conventionnel et le semis direct :

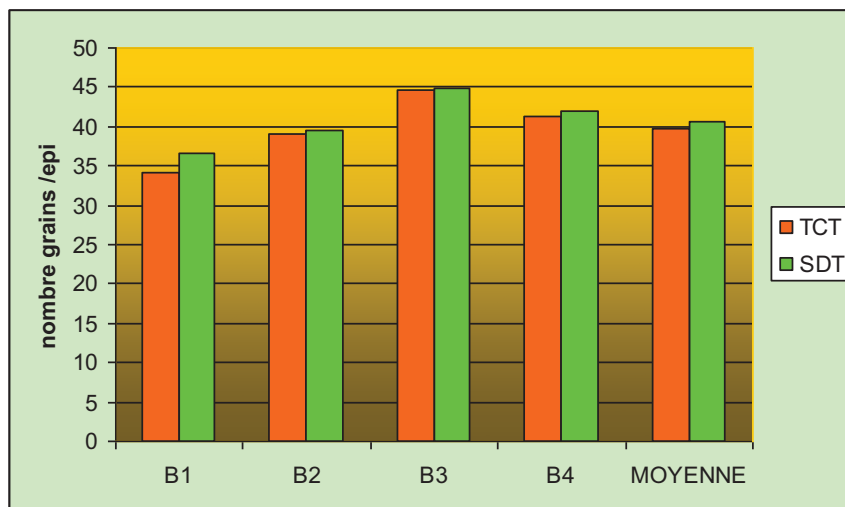


Figure 9.7 : variation du nombre de grains par épi pour les deux techniques culturales avec traitement à l'herbicide

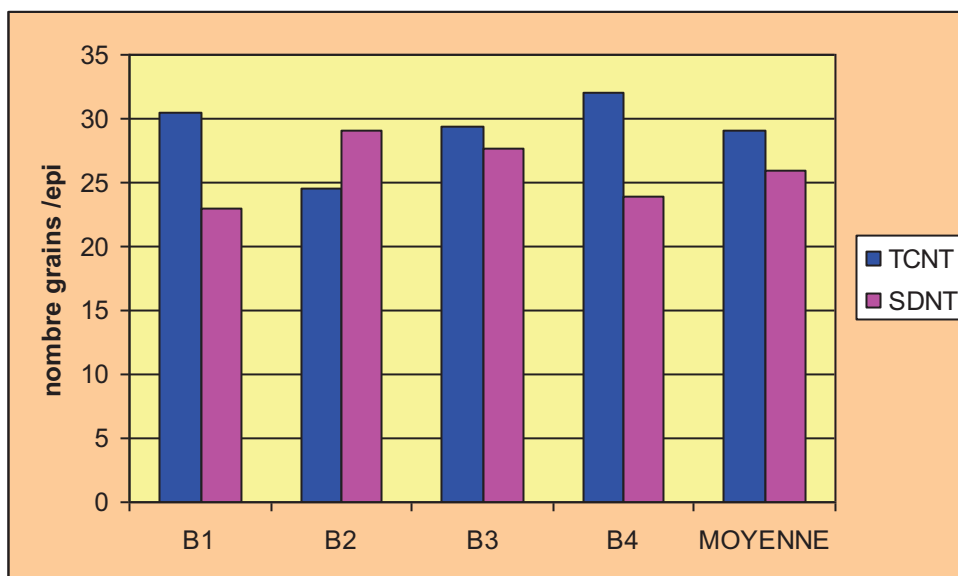


Figure 9.8 : variation du nombre de grains par épi pour les deux techniques culturales sans traitement à l’herbicide

D’après la première figure, le nombre de grains est à peu près égal pour les deux techniques avec un léger avantage pour le semis direct ou on a une moyenne qui avoisine les 41 grains contre 39 grains pour les parcelles travaillées.

Pour la deuxième figure, on remarque un net avantage pour le travail conventionnel avec une moyenne de 29 grains contre 26 pour le semis direct, signalons toutefois qu’au niveau de ces parcelles non traitées à l’herbicide le nombre de grains est nettement inférieur par rapport à ceux traitées.

9.3.3.1.L’analyse statistique de l’effet des techniques sur le nombre de grains par épi

L’analyse de la variance montre clairement qu’il y a un effet hautement significatif de la technique choisie sur cette composante du rendement.

Tableau 9.4 : analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	1	56,969	56,969	133,963	0,007
Erreur	2	0,851	0,425		
Total	3	57,820			

corrige					
----------------	--	--	--	--	--

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

9.3.3.1.1. Matrice de corrélation

Cette matrice de corrélation montre la puissance de la corrélation entre les valeurs du nombre de grains par épi pour SDNT et TCNT :

Tableau 9.5 : tableau de corrélation du nbre gr/épi

Variables	nbre gr/épi SDT	nbre gr/épi TCT
Nbre gr/épi SDT	1,000	
Nbre gr/épi TCT	0,993	1,000

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. Ce 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 à 0,993 ce qui veut dire qu'il y a une forte corrélation entre les deux variables.

Ce qui nous amène à faire une régression de la variable nombre de grains/épi TCT.

9.3.3.2. Régression de la variable nbre gr/épi (TCT)

D'après l'analyse de la corrélation on constate qu'il y a une forte corrélation entre nbre gr/épi TCT et SDT.

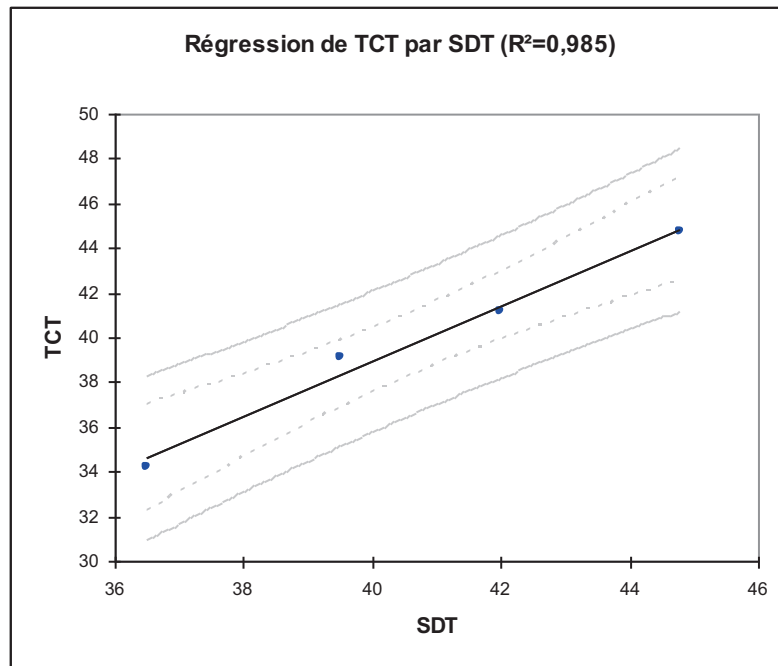


Figure 9.9 : courbe représentant La corrélation entre nbre gr/épi TCT et nbre gr/épi SDT

L'analyse par régression linéaire, mettant en relation la variable nbre gr/épi TCT avec la variable nbre gr/épi SDT, a donné la relation suivante :

$$\text{nbre gr/épi (TCT)} = -10,31 + 1,23 * \text{nbre gr/épi (SDT)} \quad (R^2 = 0,985)$$

(15)

Cette relation montre clairement que la technique culturale a un effet certain sur le nombre de grain 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 ont été constatées au niveau des parcelles non traitées. Pour ce qui est des parcelles traitées à l'herbicide, le nombre de grains est quasiment le même pour les deux techniques le travail conventionnel et le semis direct. 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 nbre gr/épi (TCT) et nbre gr/épi (SDT) est fortement significative à un niveau de confiance de 95%. Le coefficient de détermination $R^2 = 0,985$ montre que le modèle est expliqué à 98,5 %. Le coefficient de corrélation est égal à 0,993 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.

9.3.4. L’incidence des techniques culturales sur le nombre d’épi par m^2

Les figures ci-dessous représentent la variation du nombre d’épi par m^2 pour deux techniques culturales avec et sans traitement à l’herbicide :

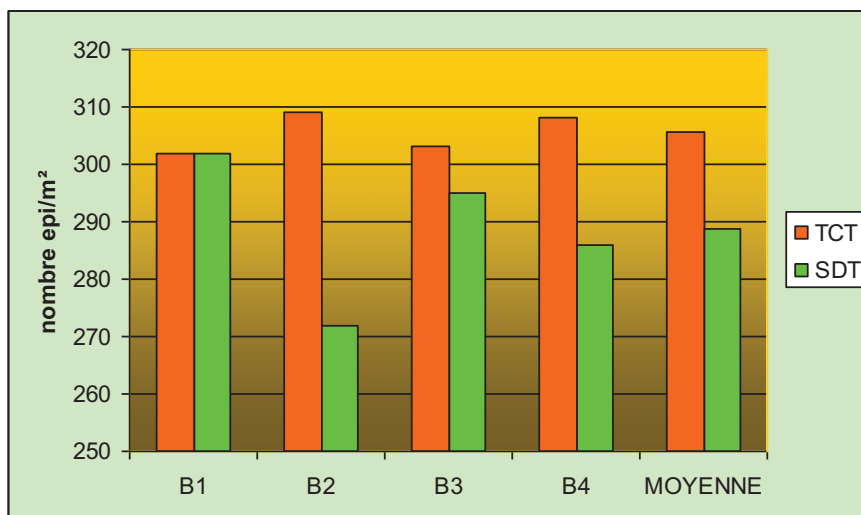


Figure 9.10 : la variation du nombre d’épi/ m^2 pour le TCT et le SDT

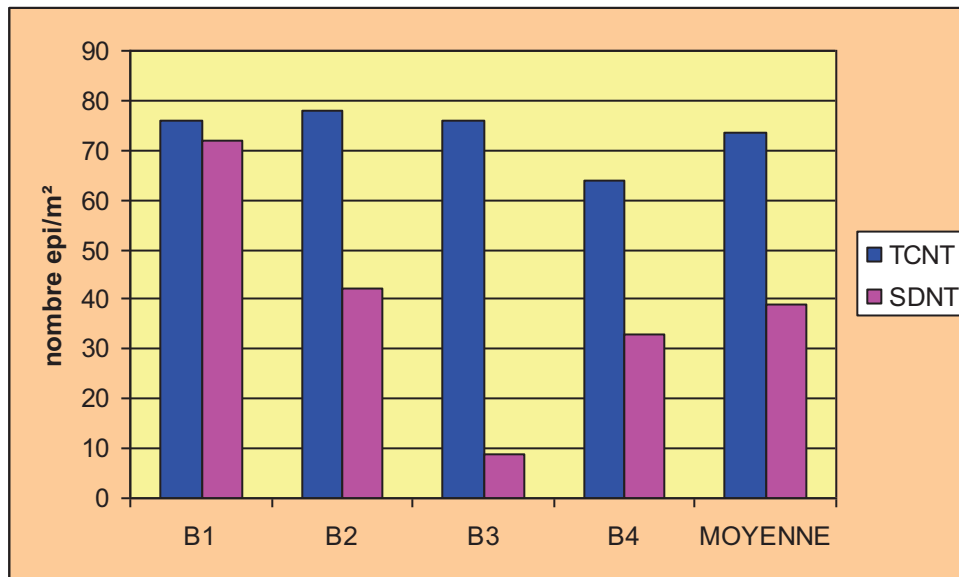


Figure 9.11 : la variation du nombre d'épi/m² pour le TCNT et le SDNT

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 travaillées avec une moyenne de 306 épis /m² pour le TCT, alors qu'on a enregistré une valeur légèrement plus basse pour le SDT de 289 épis/m².

En ce qui concerne l'autre figure qui illustre la variation du nombre d'épi par m², il semble bien les meilleurs valeurs ont été obtenues dans les parcelles travaillées.

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 9.6 : analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	1	32,335	32,335	13,862	0,065
Erreur	2	4,665	2,333		

Total corrigé	3	37,000			
----------------------	----------	---------------	--	--	--

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

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 plus ou moins faibles relativement au potentiel de la variété qui possède un bon pouvoir de tallage et donc un bon peuplement épi. Ceci nous a amené à penser à la technique culturale utilisée dans le but d'éviter un mauvais développement racinaire et par conséquent, un faible peuplement épi par unité de surface.

9.3.5. L'incidence des techniques culturales sur le rendement estimé

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 faible en semis direct, et c'est ce que nous allons voir dans les histogrammes qui suivent :

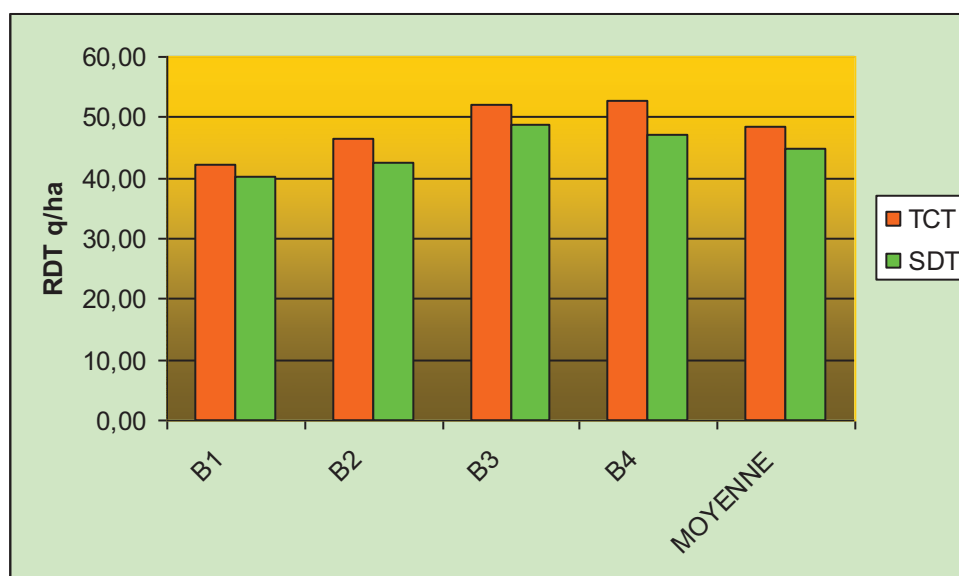


Figure 9.12 : variation du rendement théorique pour différentes techniques culturale avec traitement à l'herbicide

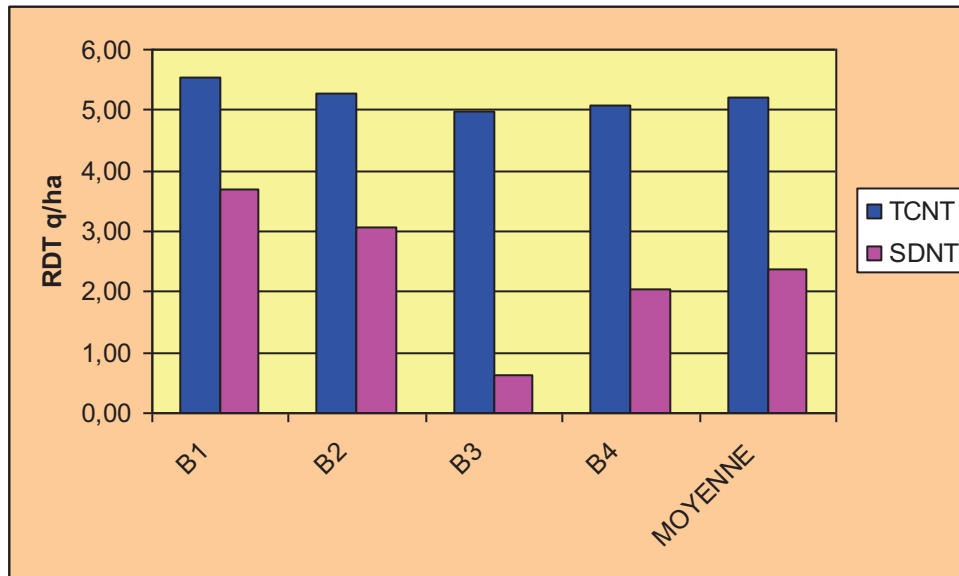


Figure 9.13 : variation du rendement théorique pour différentes techniques culturale sans traitement à l'herbicide

D'après ces deux figure, on peut constater que le rendement théorique est nettement supérieur dans les parcelles travaillées ou on enregistre un rendement théorique atteignant en moyenne 48,38 q/ha dans les sols travaillés et traités à l'herbicide contre une moyenne de 44,67 q/ha pour le SDT.



Figure 9.14 : photos prises des parcelles travaillées et celles non travaillées

Pour ce qui est des parcelles non traités, le constat est le même puisque le rendement dans les parcelles travaillées est meilleur par rapport à celui des sols menés en semis direct avec une différence entre les deux techniques de 3 q/ha, mais il faut noter que le rendement dans ces parcelles est trop bas par rapport à celui des parcelles traitées.

9.3.5.1. L'analyse statistique de l'effet des techniques culturales sur le rendement estimé du blé dur

L'analyse statistique montre clairement un effet significatif de la technique culturale sur le rendement théorique.

Une première analyse des résultats, valeurs moyennes pour les rendements pour différentes techniques culturales et traitement herbicide est illustrée sur le tableau suivant

Tableau 9.7 : La variation de la moyenne du rendement pour les quatre traitements

Variable	Observations	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	Variation moyenne
RDT (TCT)	4	42,238	52,725	48,387	4,977	0,103
RDT (SDT)	4	40,262	48,767	44,676	3,993	0,089
RDT (TCNT)	4	4,962	5,552	5,222	0,257	0,049
RDT (SDNT)	4	0,640	3,707	2,363	1,336	0,565

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

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

Dans le cas du travail conventionnel on constate, que la variation de RDT diffère entre SDNT et les autres (TCT, TCNT, SDNT).

Elle varie d'une manière importante pour TCNT, dans ce dernier elle varie d'une manière importante le coefficient de variation étant égale a 0,56.

Pour les autres, ils ne varient pas tous sauf pour RDT (TCT) où on enregistre un coefficient de variation avoisine 0,10.

9.3.5.1.1. Matrice de corrélation (Pearson (n)) :

Tableau 9.8 : représentation des corrélations entre différentes valeurs de RDT

Variables	RDT (TCT)	RDT (SDT)	RDT (TCNT)	RDT (SDNT)
RDT (TCT)	1			
RDT (SDT)	0,971	1		
RDT(TCNT)	-0,965	-0,976	1	
RDT(SDNT)	-0,872	-0,959	0,948	1

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0,05$

Cette table montre la puissance de corrélation entre les variables étudiées, dans notre cas cette variable est le rendement théorique sous deux techniques culturales. Ce 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 %.

Les paires suivantes ont des valeurs de p inférieures à 0,05 :

1- RDT (SDT) et RDT (TCT) $r = 0.971$

2- RDT (SDNT) et RDT (SDT) $r = 0.959$

3- RDT (TCNT) et RDT (TCT) $r = 0.965$

4 -RDT (SDT) et RDT (TCNT) $r = 0.976$

9.3.5.1.1.1. La corrélation entre RDT (TCT) et RDT (SDT)

D'après l'analyse de la corrélation on constate qu'il y a une forte corrélation entre RDT (TCT) et RDT (SDT).

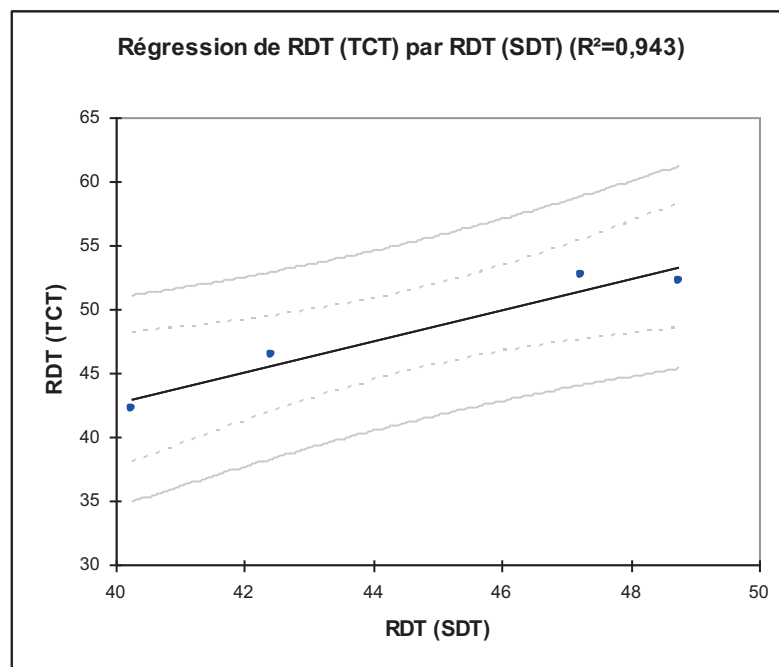


Figure 9.15 : courbe représentant la corrélation entre RDT (TCT) et RDT (SDT)

L'analyse par régression linéaire, mettant en relation la variable RDT (TCT) avec la variable RDT (SDT), a donné la relation suivante :

$$\text{RDT (TCT)} = - 5.67 + 1.21 * \text{RDT (SDT)} \quad \text{avec } R^2 = 0.943$$

(16)

Cette relation montre clairement que la technique culturale a un effet certain sur le rendement de la culture. Nous constatons d'après cette équation et d'après les histogrammes

que les parcelles travaillées avec la charrue à socs, présente un rendement supérieur par rapport au semis direct, cela peut être dû 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 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.

Tenant compte de la valeur de p inférieure a 0,05 dans le tableau d'ANOVA, le modèle établi montre que la relation entre RDT (TCT) et RDT (SDT) est fortement significative a un niveau de confiance de 95%. Le coefficient de détermination $R^2 = 0,943$ montre que le modèle est expliqué à 94.43 %. Le coefficient de corrélation est égal à 0,97 indiquant une relation relativement forte entre les variables. Donc on pourra conclure 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.

Conclusion

on a pu conclure que les techniques culturales ont un effet sur le développement racinaire et le rendement, les meilleurs rendements ont été obtenu au niveau des parcelles travaillées, et c'était les conséquences du choix des techniques à mettre en place.

Le rendement de la culture est conditionné en grande partie par la présence des mauvaises herbes, qui elles sont influencées par les techniques culturales, et c'est ce qui fera l'objet des prochains chapitres à savoir l'étude de l'effet des techniques culturales sur l'infestation en mauvaises herbes et conséquences sur le comportement du sol, le développement de la plante ainsi que le rendement de la culture.

Chapitre 10 :

*Analyse de l'effet des techniques culturales
sur le développement des mauvaises
herbes.*

Chapitre 10 : Analyse de l'effet des techniques culturales sur le développement des mauvaises herbes.

Introduction

Dans de ce premier chapitre de la deuxième partie de l'expérimentation, on tentera d'analyser l'évolution de la densité et biomasse des mauvaises herbes sous l'action de deux techniques culturales à savoir le travail conventionnel et le semis direct, l'analyse statistique permettra ensuite une quantification de ces effets pour chacune des techniques.

10.1. Analyse de l'effet des techniques culturales sur la densité des mauvaises herbes pour les parcelles traitées

Le tableau et la figure suivante représente la densité des mauvaises herbes dans les parcelles travaillées et traitées et celles menées en semis direct et traitées tout au long de la campagne.

Tableau 10.1: densité des mauvaises herbes pour les parcelles TCT et SDT

Stades	D (plant/m ²) TCT	D (plant/m ²) SDT
état initial	128	126
après labour	0,000	126,00
21 jrs après 1er traitement	23	28
42 jrs après 1er traitement	42,33	42,67
42 jrs après 2ème traitement	41,60	36,00

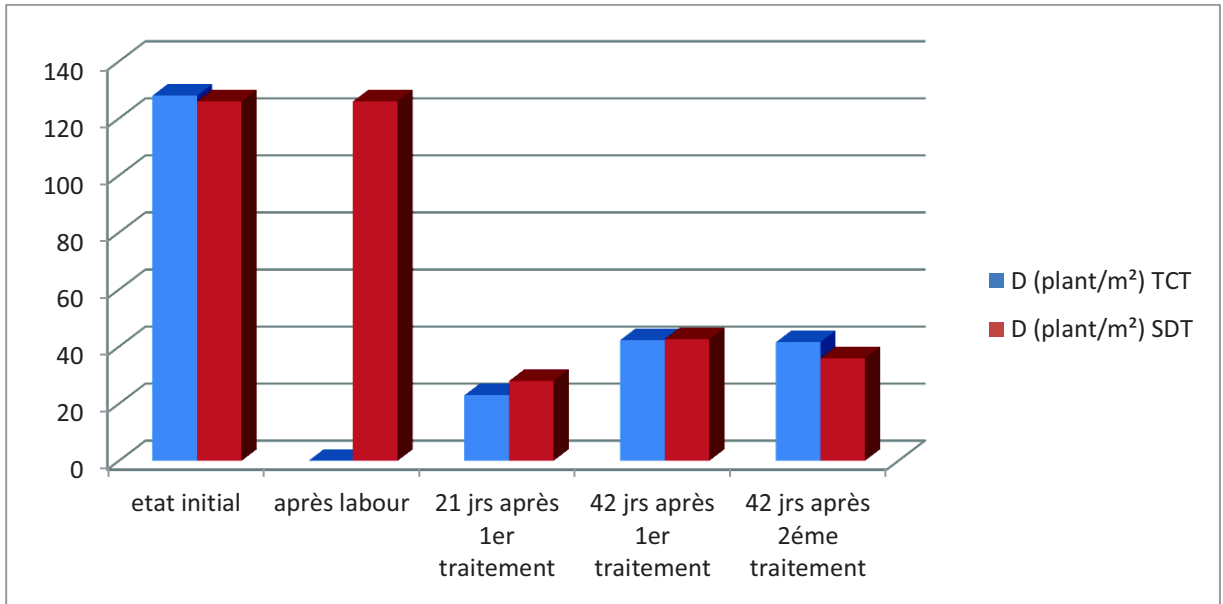


Figure 10.1: la densité des mauvaises herbes dans les parcelles TCT et SDT

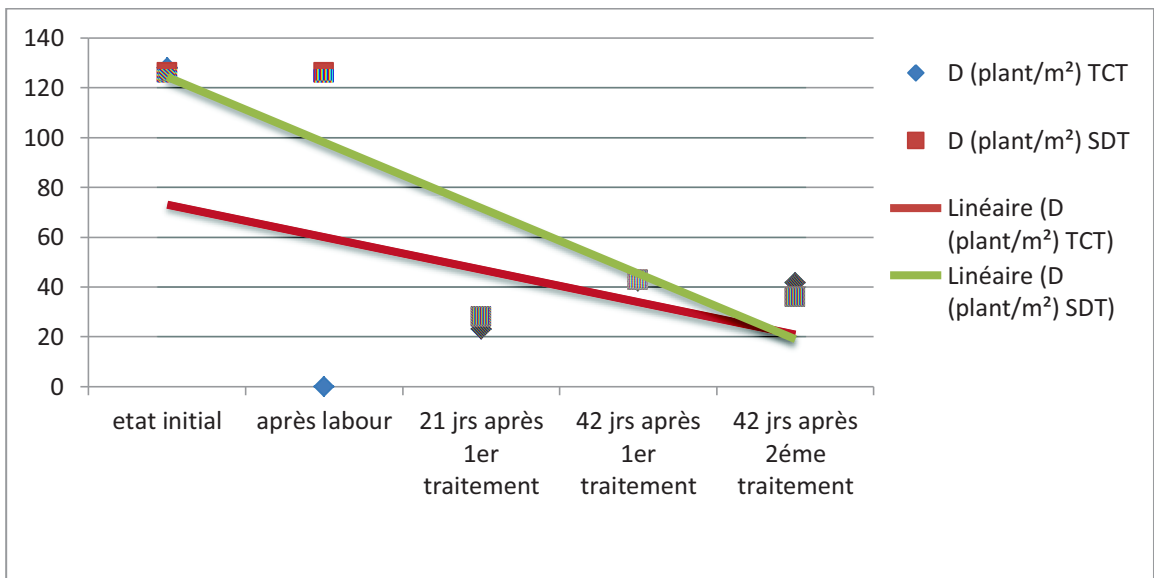


Figure 10.2: évolution des mauvaises herbes pour les parcelles TCT et SDT

D'après les figures ci-dessus, le premier constat qu'on peut faire est que le labour a un effet destructeur sur les mauvaises herbes, et ça été observé dans les parcelles travaillées ou la densité qui était de 128 plant/m² a été réduite à néant, ce qui nous confirme que le labour est une opération de lutte mécanique efficace contre les mauvaises herbes.

Dans les parcelles non travaillées, on a appliqué un traitement à l'herbicide au même moment où on a labouré les autres parcelles, et 15 jours après on a fait des prélèvements de densité qui ont donné des résultats à peu près les mêmes pour TCT et SDT, qui sont respectivement 23 plant/m² et 28 plant/m², mais vu la petite différence de ces densités on peut dire que le travail du sol est plus efficace que le traitement à l'herbicide pour la destruction des mauvaises herbes.

Un mois après le premier traitement, on enregistre une augmentation de la population des mauvaises herbes dans les parcelles travaillées de l'ordre de 45% alors que celles menées en semis direct 34%. Après le deuxième traitement qui a été pratiqué sur toutes les parcelles travaillées ou non travaillées, on constate une densité plus importante dans les parcelles travaillées par rapport à celles non travaillées.

10.2. Analyse de l'effet des techniques culturales sur la densité des mauvaises herbes pour les parcelles non traitées

Les résultats de l'analyse de la densité des mauvaises herbes pour TCNT et SDNT sont représentés dans le tableau suivant et les figures suivantes :

Tableau 10.2: évolution de la densité de la flore adventice pour TCNT et SDNT

stades	D (plant/m²) TCNT	D (plant/m²) SDNT
état initial	126	123,6
après labour	0,000	123,60
15 jrs après semis	19	142
stade 6 à 8 feuilles	68,00	158,00
stade épisaison	86,13	225,33

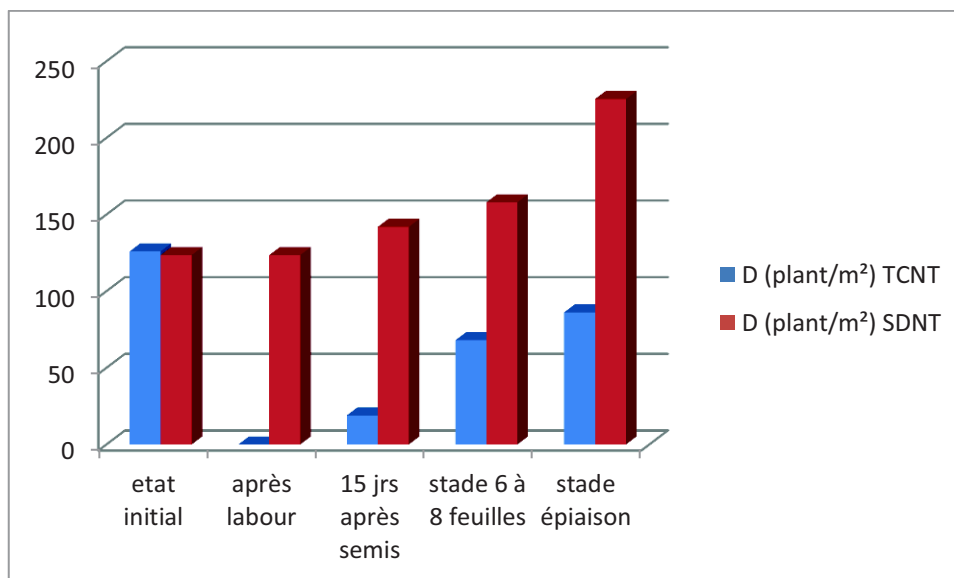


Figure 10.3: Analyse de la densité des mauvaises herbes dans les parcelles non traitées

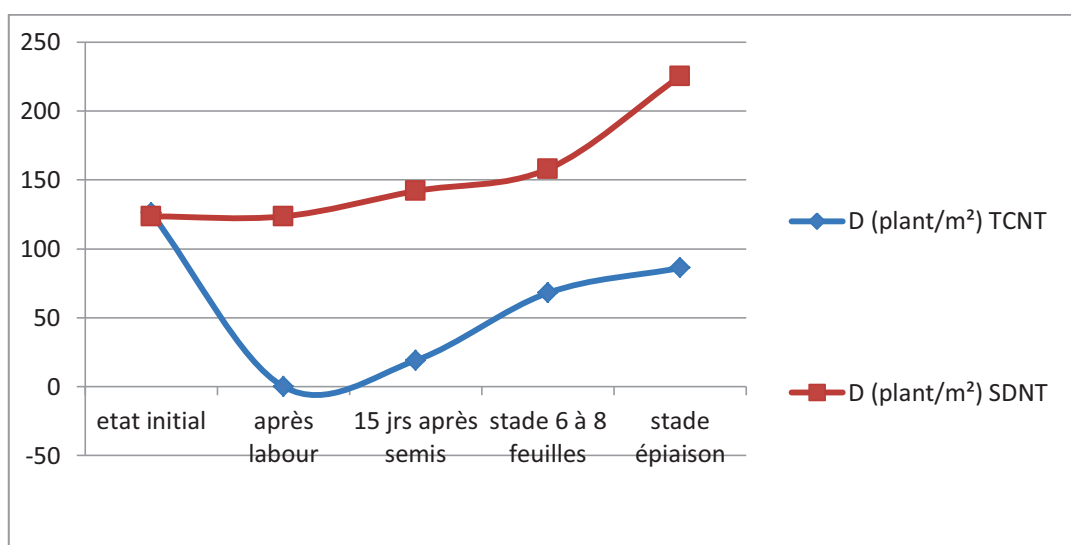


Figure 10.4: évolution de la flore adventice dans les parcelles non traitées

D'après les résultats exposés ci-dessus, on peut constater une nette différence entre les parcelles travaillées et celles menées en semis direct. Comme pour les parcelles traitées, le premier constat à faire est que la charrue est un outil important pour l'élimination des mauvaises herbes, car après le labour on a eu une destruction totale des mauvaises herbes.

15 jours après le semis, on a enregistré une densité de la flore adventice de 19 plant/m² pour TCNT et 142 plant/m² pour SDNT soit une augmentation de 19% pour les parcelles travaillées, contre 13% pour les parcelles non travaillées. Cela peut être expliqué par la remonté en surface du stock semencier enfouit en profondeur dans les parcelles travaillées, cette remonté en surface a permis la germination de quelques graines de mauvaises herbes, tant dis qu'en semis direct il y a absence totale d'intervention avec les outils ce qui a permis au stock semencier de rester en profondeur.

Au stade épiaison le constat est le même que les deux stades précédents, ainsi la densité des mauvaises herbes augmente d'une manière importante dans les sols travaillés par rapport à ceux non travaillés, mais toutefois la densité atteint les 225 plant/m² en SDNT contre 86 plant/m² en TCNT, d'où une augmentation totale par rapport à l'état initial de la parcelle de 182% en semis direct contre une diminution totale de 31% pour TCNT.

Donc en absence de traitement à l'herbicide, la technique de travail du sol classique a une importance capitale dans la maîtrise des mauvaises herbes par rapport au système de semis direct ou la flore adventice a envahi toute la parcelle avec comme conséquences une concurrence accrue imposée à la culture mise en place.

Pour approfondir l'analyse de l'effet du semis direct et du travail du sol conventionnel, on a effectué une analyse statistique.

L'analyse statistique montre un effet très hautement significatif pour le facteur technique cultural sur la densité des mauvaises herbes.

• **Test t pour deux échantillons TCT et SDT / Test bilatéral :**

Différence	25,933
t (Valeur observée)	2,841
 t (Valeur critique)	1,976
p-value (bilatérale)	0,005
Alpha	0,05

Interprétation du test :

H0 : La différence entre les moyennes est égale à 0.

Ha : La différence entre les moyennes est différente de 0.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification $\alpha=0,05$, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.

Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H0 alors qu'elle est vraie est inférieur à 0,51%.

- **Test t pour deux échantillons TCNT et SDNT / Test bilatéral :**

Différence	-94,627
t (Valeur observée)	-8,119
 t (Valeur critique)	1,976
p-value (bilatérale)	< 0,0001
Alpha	0,05

- **Diagramme de dominance**

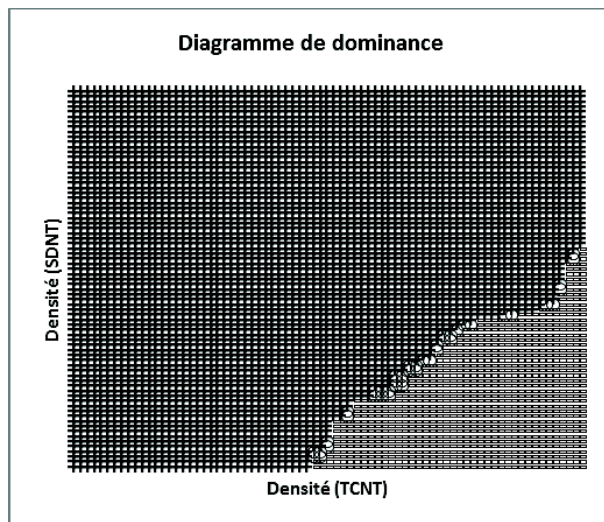


Figure 10.5: diagramme de dominance des densités entre TCNT et SDNT

D'une manière générale on peut conclure que le labour a un impact sur les densités de mauvaises herbes. En effet, en réduisant les densités de la population adventice, le labour limite la concurrence de ces mauvaises herbes vis-à-vis de la culture et permet un meilleur développement de la culture.

Le labour constitue donc un outil intéressant de gestion des adventices. De plus, il s'agit d'une pratique courante, demandant rarement des investissements supplémentaires et facile à appliquer.

10.3. Analyse de l'effet des techniques culturales sur la biomasse des mauvaises herbes

10.3.1. Analyse de l'effet des techniques culturales sur la biomasse des mauvaises herbes pour les parcelles traitées

Les résultats de l'analyse de l'effet des techniques culturales sur la biomasse des mauvaises herbes dans les parcelles traitées sont présentés dans le tableau et les figures suivantes.

Tableau 10.3: analyse de la biomasse des mauvaises herbes pour TCT et SDT

stade	Biomasse (g/m²) TCT	Biomasse (g/m²) SDT
état initial	100,67	99,2
après labour	0,000	99,200
21 jrs après 1er traitement	262,133	212,533
21 jrs après 2ème traitement	288,800	244,267

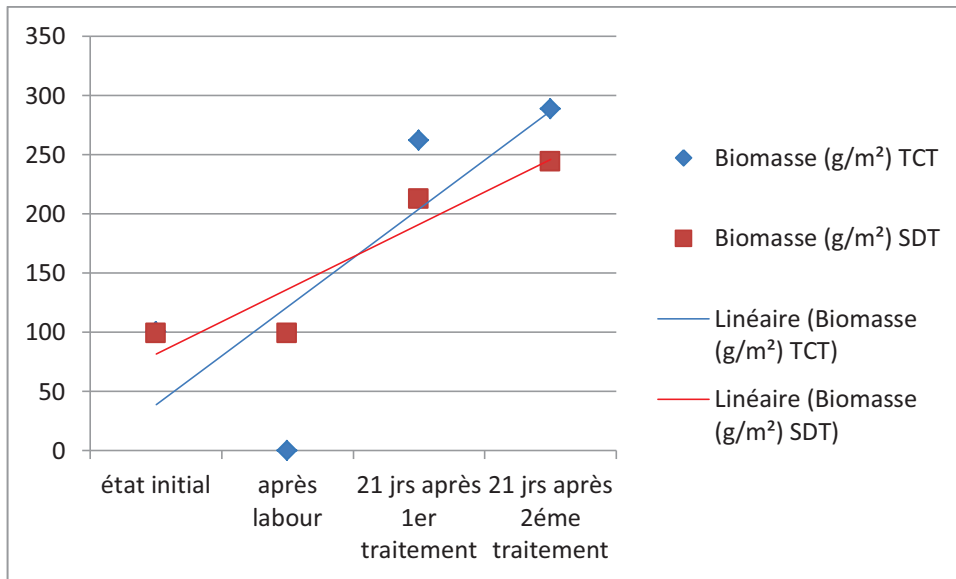


Figure 10.6: évolution de la biomasse des mauvaises herbes pour TCT et SDT.

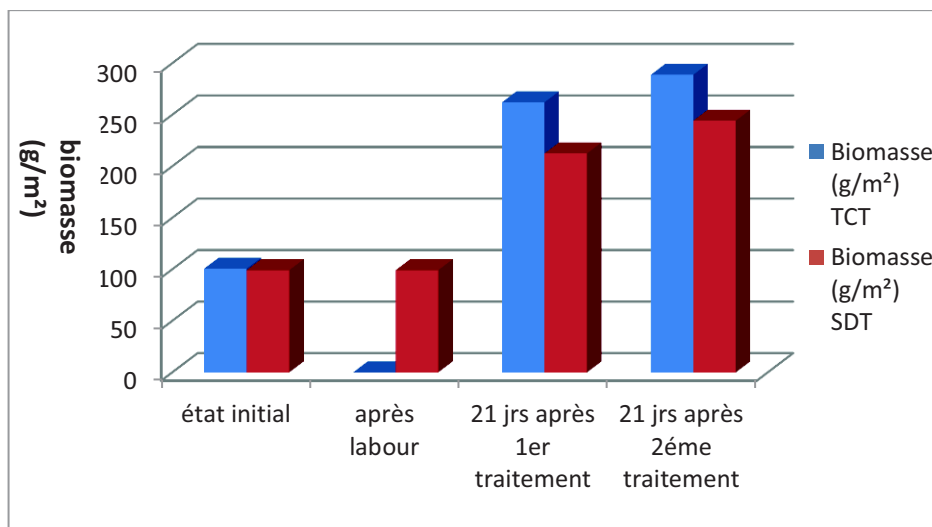


Figure 10.7: analyse de la biomasse des mauvaises herbes pour SDT et TCT

Les figures ci-dessus représentent l'évolution de la biomasse de la flore adventice exprimée en g/m^2 pour les parcelles travaillées et traitées à l'herbicide et les parcelles menées en semis direct et traitées.

Au vu de ces résultats, la première conclusion qu'on peut tirer est que le labour a permis de détruire la totalité des mauvaises herbes présentes sur la parcelle travaillée. La biomasse détruite est de $100 g/m^2$.

Après les traitements à l'herbicide, on a enregistré une biomasse plus importante dans parcelles travaillées par rapport à celle du semis direct, ceci peut être expliqué par le fait que les parcelles travaillées n'ont reçu qu'un seul traitement à l'herbicide contrairement à celles menées en semis direct traitées à l'herbicide deux fois. Et malgré ces deux traitements, la biomasse est pratiquement la même mesurée après le deuxième traitement.

10.3.2. Analyse de l'effet des techniques culturales sur la biomasse des mauvaises herbes pour les parcelles non traitées

Les résultats de l'analyse de la biomasse des mauvaises herbes dans les parcelles TCNT et SDNT sont présentés dans le tableau et les figures suivantes :

Tableau 10.4: représentation de la biomasse des mauvaises herbes pour TCNT et SDNT

stade	Biomasse (g/m ²) TCNT	Biomasse (g/m ²) SDNT
état initial	103,89	108,53
après labour	0,000	108,530
15 jrs après semis	298,133	872,533
stade épisaison	629,867	993,333

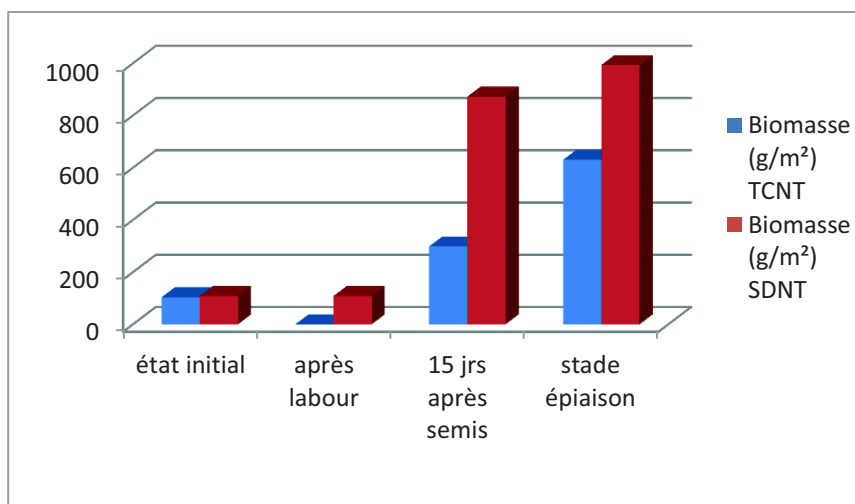


Figure 10.8: la biomasse des mauvaises herbes pour TCNT et SDT

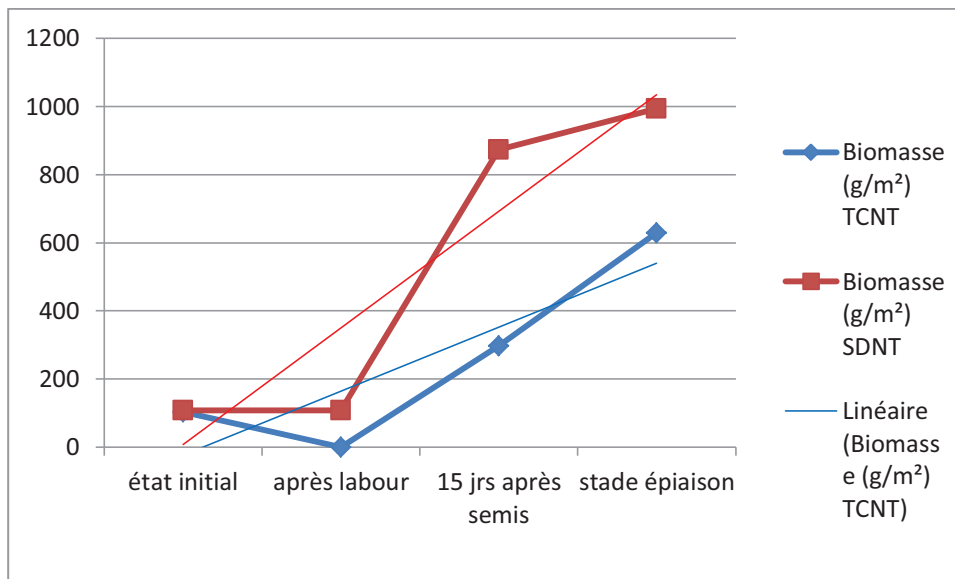


Figure 10.9: évolution de la biomasse des mauvaises herbes pour TCNT et SDNT

Dans les parcelles non traitées l'effet de la technique sur la biomasse des mauvaises herbes est certain, la biomasse passe de 108 gr/m² avant le semis à 993 gr/m² au stade épiaison soit une augmentation de plus de 800% pour SDNT, alors que TCNT enregistre une augmentation de 100 à 600 gr/m².

L'analyse statistique fait ressortir l'effet des techniques culturales sur la biomasse des mauvaises herbes.

- **Test t pour deux échantillons SDNT et TCNT / Test bilatéral**

Différence	-282,133
t (Valeur observée)	-3,428
 t (Valeur critique)	1,987
p-value (bilatérale)	0,001
alpha	0,05

- **Diagramme de dominance**

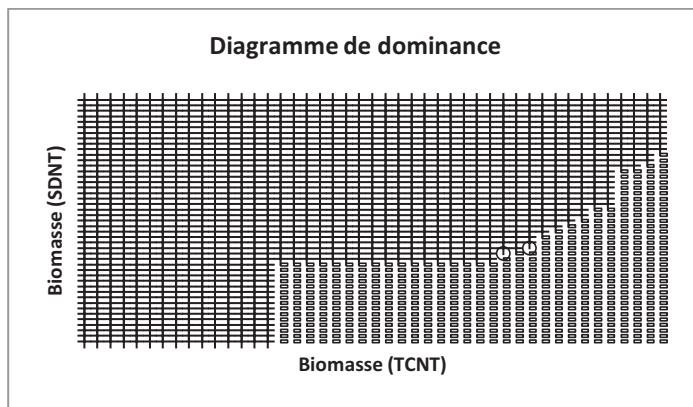


Figure 10.10 : diagramme de la biomasse entre TCNT et SDNT

L'analyse de la variance indique une différence très hautement significative entre les deux types de techniques culturales. Ce qui nous amène à conclure que la technique choisie a un effet certain sur la biomasse des mauvaises herbes, le labour est une opération de travail du sol qui a un impact très positif sur la flore adventice présente, et son élimination totale va diminuer la pression qu'elle exerce sur la culture mise en place et de la laisser se développer correctement sans concurrence pour l'eau, la lumière et les éléments nutritifs. De plus le labour permet de réduire l'utilisation des produits de lutte chimique, source de pollution des sols, de la nappe et même de détériorer la qualité du produit semé, donc de réduire les effets sur l'environnement.

Conclusion

Statistiquement, il y a un effet très hautement significative entre les deux types de techniques culturales sur la densité et la biomasse des mauvaises herbes avec des **P-value < 0,005** pour densité et **< 0,001** pour biomasse. Ce qui nous amène à conclure que la technique choisie a un effet certain sur la biomasse et la densité des mauvaises herbes, on a pu conclure que le labour est une opération de travail du sol qui a un impact très positif sur la flore adventice présente. Par ailleurs, il reste à savoir si l'infestation en mauvaises herbes modifie la structure du sol, influe sur la croissance de la plante ainsi que le rendement de la culture, c'est ce qui fera l'objet du prochain chapitre à savoir l'effet de l'infestation en mauvaises herbes sur le comportement du sol, la croissance de la plante et le rendement de la culture.

*Partie 02 : analyse de l'effet des
techniques culturales sur l'infestation en
mauvaises herbes*

Chapitre 11:

*Impact de l'infestation en mauvaises
herbes sur les propriétés du sol, la
croissance de la plante et le rendement
final de la culture*

Chapitre 11: impact de l'infestation en mauvaises herbes sur les propriétés du sol, la croissance de la plante et le rendement final de la culture

Au niveau de chapitre, on tentera de savoir si la présence des mauvaises herbes dans les parcelles influe sur la modification de l'état structural du sol caractérisée par l'humidité, porosité et résistance pénétrométrique du sol, et l'impact qu'aura cette infestation sur la croissance de la culture et le rendement de la culture

11.1. Variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif

11.1.1. TCT et TCNT

Dans cette partie, il s'agira d'analyser la variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur du sol et le stade végétatif pour la technique de travail du sol classique mais avec deux cas différents : le 1^{er} cas avec traitement herbicide et le 2^{eme} cas : sans traitement herbicide ; les résultats sont illustrés dans la figure suivante :

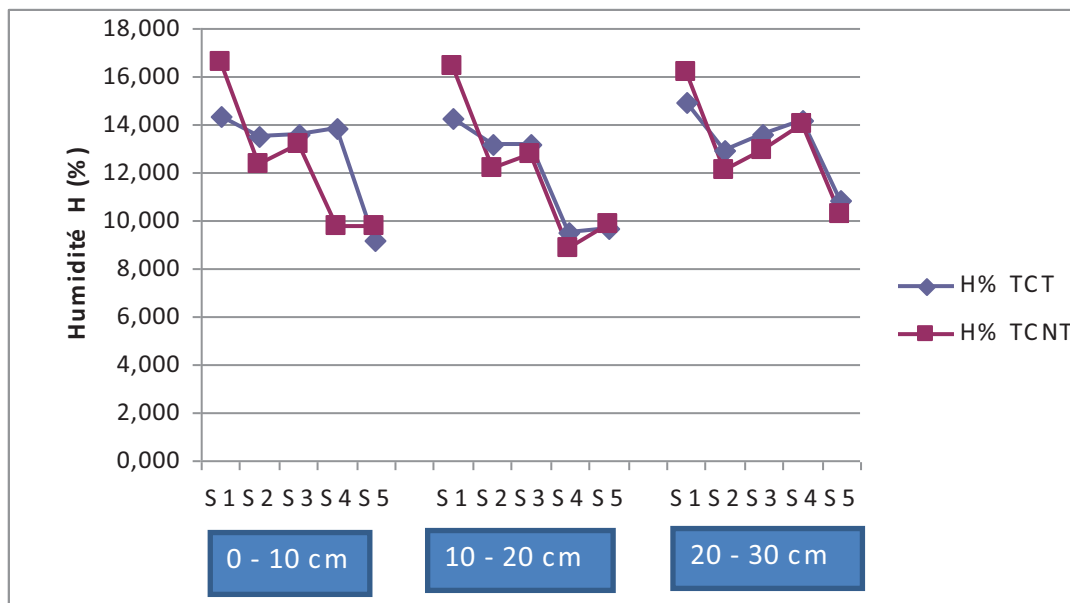


Figure 11.1 : Variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour la technique de travail du sol classique et les deux traitements d'herbicide

D'après la figure 11.1, on peut constater qu'au niveau du premier horizon l'humidité du sol diffère pour les sols traités en herbicides et ceux qui ne sont pas traités. D'autres parts, le taux

d'humidité atteint son maximum au niveau du premier stade pour le T.C.NT (travail conventionnel non traité), il atteint la valeur de 16,55% ; l'écart enregistré dans ce stade de la teneur en eau de la technique conventionnel non traité par rapport à la valeur du conventionnel traité est de 2,22%. On remarque toutefois au niveau du stade 2 et 3 et 4 des rapprochements entre les valeurs de l'humidité des sols traités, elles restent stables et avoisinent 13% ; alors que pour les sols non traité on constate que l'humidité diminue de stade en stade jusqu'à ce qu'elle atteigne son minimum qui est 9,78% au niveau du stade 5.

Au niveau du deuxième horizon, le constat n'est pas totalement le même puisque l'humidité du sol chute au niveau du stade 4 dans les sols traités. Les valeurs de l'humidité sont très rapprochées entre les deux courbes au niveau 3, 4 et 5 ; au niveau du dernier stade on enregistre l'humidité la plus basse pour les deux courbes.

. L'humidité atteint son maximum pour les sols traités et non traités au niveau du premier stade où elle atteint les 16,42 % pour T.C.NT et 14,21 % pour le T.C.T, elle commence à diminuer ensuite pour se stabiliser à 9 %.

Pour le troisième horizon, les deux courbes sont très rapprochées, les valeurs maximales enregistrées au 1^{er} stade sont 14,90 pour le T.C.T et 16,16 pour T.C.NT. L'humidité commence à diminuer jusqu'au 2^{eme} stade ; ou elle va augmenter ensuite jusqu'à atteindre 14,16 % pour les sols traités et 14,03 % pour les sols non traités au niveau du stade 4 ; au niveau du dernier stade on enregistre l'humidité la plus basse pour les deux courbes.

11.1.2. SDT et SDNT

Dans cette partie nous allons essayer d'analyser la variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur du sol et le stade végétatif pour la technique de semis direct mais avec deux cas différents : le 1^{er} cas avec traitement herbicide et le 2^{eme} cas : sans traitement herbicide ; les résultats sont illustrés dans la figure suivante :

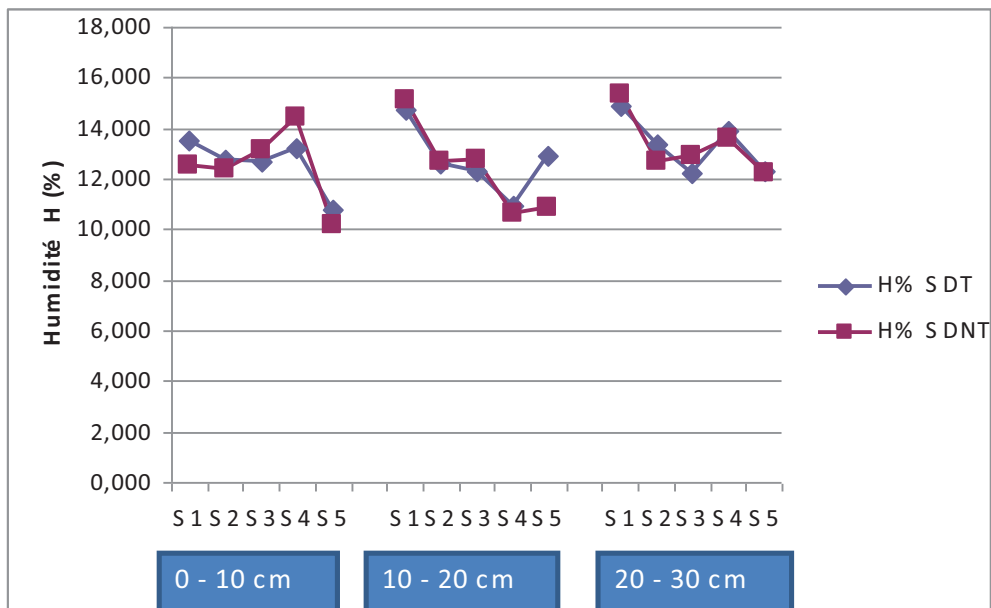


Figure 11.2: Variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour la technique de semis direct et les deux traitements d'herbicide

Ces résultats montrent que :

Pour le premier horizon, on constate que l'humidité augmente dans les sols non traités du 1^{er} stade jusqu'au 4^{ème} stade ou on enregistre une valeur maximale de 14,42 %, à partir de ce stade l'humidité chute sensiblement ou elle atteint une valeur de 10%.

Pour les sols traités le constat est à peu près le même juste que la porosité commence à chuter a partir du premier stade atteignant une valeur de 12,34 %, à partir du 2^{ème} stade on enregistre une augmentation de l'humidité jusqu'au 4^{ème} stade où elle commence à chuter jusqu'à atteindre une valeur minimale de 10 %.

Pour ce qui est de la comparaison entre les sols traités et non traités, on peut dire que l'humidité des sols traités est meilleure pour les deux premiers stades ; tant dis qu'à partir du 3^{ème} stade la teneur en eau dans les sols non traités est meilleure.

Au niveau du deuxième horizon, le constat n'est pas le même puisque l'humidité du sol que ce soit traité ou non, diminue au fur et à mesure que cycle de la plante avance, jusqu'au stade 4 ou on

enregistre la plus faible humidité avec 10,66 pour les sols non traités et 10,92 % pour les sols traités ; à partir de ce stade on constate une nette augmentation de l'humidité dans les sols traités et une légère augmentation dans les sols non traités. On remarque toutefois que Les valeurs de l'humidité sont très rapprochées entre les deux courbes au niveau des quatre premiers stades.

. L'humidité atteint son maximum pour les sols traités et non traités au niveau du premier stade où elle atteint les 14,75 % pour S.D.NT et 15,13 % pour le S.D.T, elle commence à diminuer ensuite pour se stabiliser à 12 %.

Pour le troisième horizon, les deux courbes sont très rapprochées, les valeurs maximales enregistrées au 1^{er} stade sont 14,91 pour le S.D.T et 15,32 % pour S.D.NT. L'humidité commence à diminuer jusqu'au 2^{eme} stade ; ou elle va se stabiliser relativement pour les sols traités et non traités jusqu'au stade 4 ou elle va diminuer de nouveau; au niveau du dernier stade on enregistre l'humidité la plus basse pour les deux courbes.

De façon générale, on peut conclure que la teneur en eau dans le sol est meilleure dans les sols non traités. Toutefois, les résultats montrent que l'humidité atteint son minimum au niveau du dernier stade pour les sols traités et non traités et pour les trois horizons, cela peut être expliqué par l'évaporation de l'eau enregistré au mois d'avril, mai, juin à cause des températures élevées et l'absence des pluies.

Ces résultats s'expliquent aussi par le fait qu'une parcelle infestée par des mauvaises herbes présente une humidité élevée à cause mauvaises herbes qui crée généralement un environnement humide ce qui va se répercuter sur la résistance du sol qui sera certainement réduite.

11.2. Variation de la porosité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif

11.2.1. TCT et TCNT

Les résultats de ces essais sont consignés dans le tableau suivant et illustrés par la figure ci-dessous :

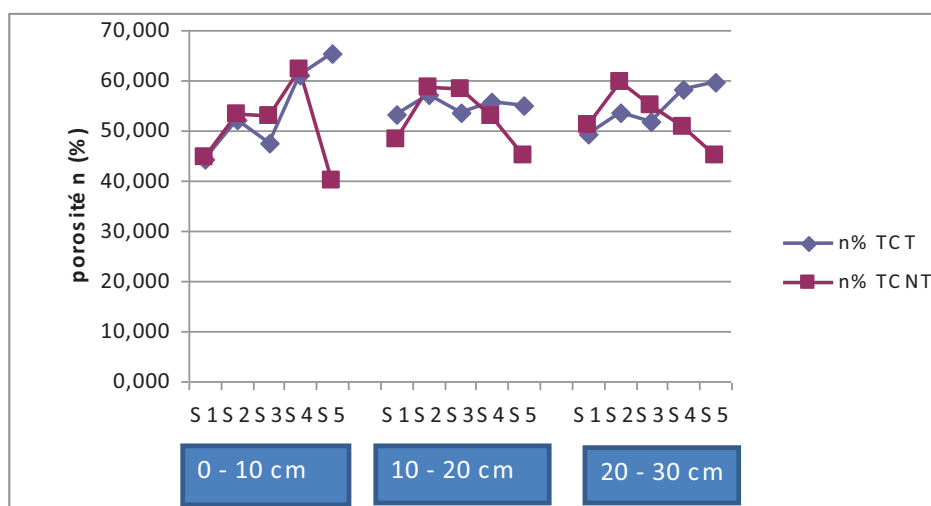


Figure 11.3 : variation de la porosité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour la technique de travail du sol classique avec et sans traitement herbicide

L'analyse des résultats montre que:

Pour le premier horizon, on constate que la porosité augmente d'une façon accrue dans les sols non traités du 1^{er} stade jusqu'au 4^{ème} stade ou on enregistre une valeur maximale de 62,27 %, à partir de ce stade la porosité chute sensiblement ou elle atteint sa valeur la plus basse qui est de 40%.

Pour les sols traités le constat est à peu près le même juste que la porosité commence à chuter à partir du deuxième stade atteignant une valeur de 47 %, à partir de ce stade on enregistre une augmentation accrue au fil des stades de développement de la plante jusqu'à atteindre une porosité maximale de 65 %.

Pour ce qui est de la comparaison entre les sols traités et non traités, on peut dire que la porosité des sols non traités est plus conséquente pour les trois premiers stades ; tant dis qu'à partir du 4^{ème} stade la porosité des sols traités enregistrées est supérieure.

Pour le deuxième horizon, on constate que la porosité augmente dans les sols non traités du 1^{er} stade jusqu'au 3^{ème} stade ou on enregistre une valeur maximale de 58%, à partir de ce stade la porosité chute sensiblement ou elle atteint une valeur de 45%.

Pour le troisième horizon, la porosité augmente d'une façon accrue dans les sols non traités du 1^{er} stade jusqu'au 4^{ème} stade ou on enregistre une valeur maximale de 62,27 %, à partir de ce stade la porosité chute sensiblement ou elle atteint sa valeur la plus basse qui est de 40%.

Pour les sols traités le constat est à peu près le même juste que la porosité commence à chuter à partir du deuxième stade atteignant une valeur de 47 %, à partir de ce stade on enregistre une augmentation accrue au fil des stades de développement de la plante jusqu'à atteindre une porosité maximale de 65 %.

Pour le troisième horizon, le constat est n'est pas exactement le même pour les sols non traités car on constate que la porosité augmente dans les sols travaillés du 1^{er} stade jusqu'au 2^{ème} stade ou on enregistre une valeur maximale de 59%, a partir de ce stade la porosité chute sensiblement ou elle atteint une valeur de 45%.

Pour les sols travaillés et traités, on peut remarquer que la porosité se stabilise entre les valeurs de 49 et 59% où on enregistre une augmentation à partir du 3^{ème} stade allant de 51% à 59 %.

Pour ce qui set de la comparaison entres les sols traités et non traités, on peut conclure qu'au niveau du troisième horizon compris entre 20 et 30 cm : la porosité des sols traités enregistrés est supérieure à celle constatés dans les sols non traités, car elle augmente au fur et à mesure que le cycle de plante avance, contrairement a celle des sols non traités ou on enregistre des diminutions accrue allant de 59 % à 45%.

Par ailleurs, puisque 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.

11.2.2. SDT et SDNT

Pour cette variation, les résultats sont représentés sur le tableau suivant et illustré dans la figure suivante :

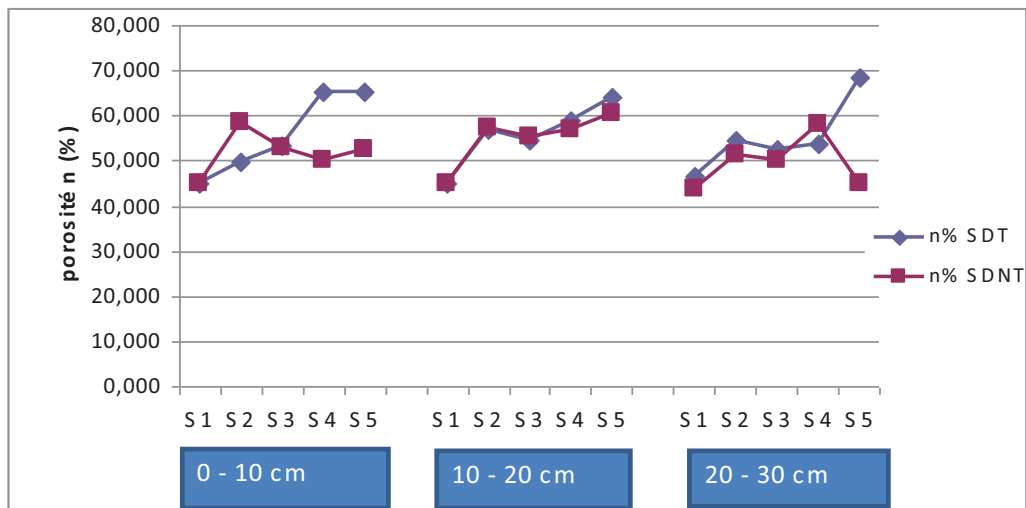


Figure 11.4 : la variation de la porosité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour la technique de semis direct avec et sans traitement herbicide.

La figure ci-dessus représente la variation de la porosité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour la technique de semis direct avec et sans traitement herbicide

L'analyse des résultats montre que :

Pour le premier horizon, on constate que la porosité augmente d'une façon accrue dans les sols traités du 1^{er} stade jusqu'au 4^{ème} stade où on enregistre une valeur maximale de 65%, la porosité se stabilise jusqu'à la fin du cycle de la plante.

Pour les sols non traités le constat n'est du tout le même puisque la porosité maximale enregistrée est de 58% au niveau du deuxième stade, à partir de ce stade elle commence à chuter atteignant une valeur de 50 % au niveau du dernier stade.

Pour ce qui est de la comparaison entre les sols traités et non traités, on peut dire que la porosité des sols traités est nettement supérieure pour les trois derniers stades.

Pour le deuxième horizon, on constate que la porosité augmente dans les sols traités et non traités de la même façon du 1^{er} stade jusqu'au 5^{ème} stade ou on enregistre une valeur maximale de 64% pour les sols traités et 60% pour ceux non traités.

Pour ce qui est de la comparaison entre les sols traités et non traités on peut dire que la porosité des sols traités est légèrement supérieure dans les parcelles traitées sinon les valeurs sont très rapprochés pour les deux traitements.

Pour le troisième horizon, le constat est n'est pas exactement le même pour les sols non traités car on constate que la porosité augmente dans les sols non traités du 1^{er} stade jusqu'au 4^{ème} stade ou on enregistre une valeur maximale de 58%, a partir de ce stade la porosité chute sensiblement ou elle atteint une valeur de 45%.

Pour les sols traités, on peut remarquer que la porosité augmente sensiblement jusqu'à au fur et à mesure que la plante se développe jusqu'à atteindre une valeur maximale au niveau du stade maturation de 68%.

Pour ce qui est de la comparaison entre les sols traités et non traités, on peut conclure qu'au niveau du troisième horizon compris entre 20 et 30 cm : la porosité des sols traités enregistrés nettement supérieure par rapport à celle constatés dans les sols non traités, car elle augmente au fur et à mesure que le cycle de plante avance, contrairement à celle des sols non traités ou on enregistre une diminution accrue allant de 58 % à 45%.

Par ailleurs, et comme cité précédemment, puisque 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.

11.3. Variation de la résistance pénétrométrique du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif

11.3.1. SDT et SDNT

Les résultats de la variation de la résistance pénétrométrique sont représentés sur le tableau suivant et illustré dans la figure suivante :

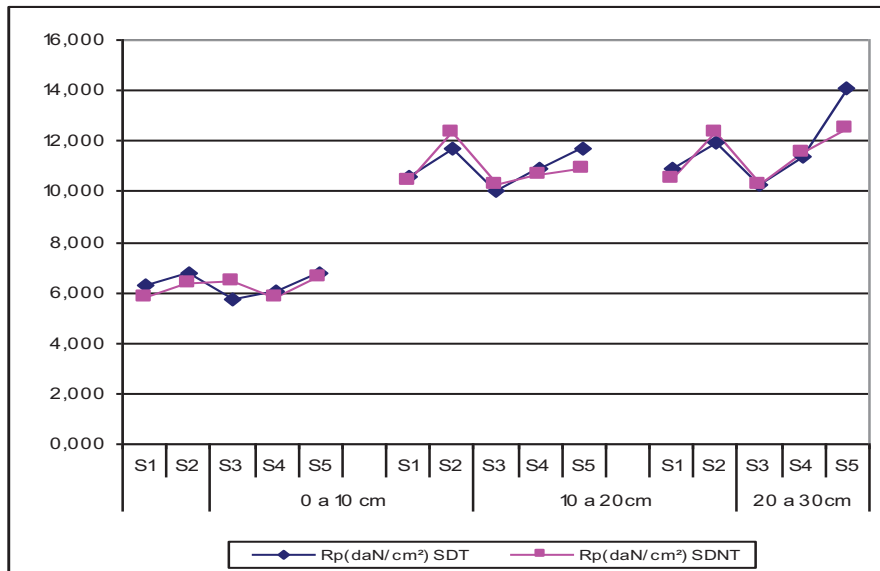


Figure 11.5 : La variation de la résistance pénétrométrique du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour la technique de semis direct avec et sans traitement herbicide.

Cette figure montre que la résistance pénétrométrique du sol est différente entre les sols menés en semis direct traités et non traités. Nous constatons que : la résistance pénétrométrique du sol :

- augmente au niveau du stade (2), diminue au niveau du stade (3) et remonte au dernier stade du cycle de la plante, ou on enregistre la valeur maximale qui est de 06,74 (daN/cm²) ce constat est fait pour les sols traités ; pour ce qui est des sols non traités on remarque que la résistance pénétrométrique reste relativement stable tout au long du cycle de développement de la plante elle, varie entre 5 (daN/cm²) et 6 (daN/cm²).

On constate également que les valeurs de Rp sont pratiquement identiques entre les sols traités et non traités et ce pour le premier horizon (entre 0-10 cm).

- Pour le deuxième horizon, la résistance pratique du sol augmente fortement au niveau du deuxième stade, diminue au niveau du troisième stade et remonte au dernier stade du cycle de la plante, ce constat est fait pour les sols traités et non traités juste que la résistance mécanique du sol est nettement plus supérieure dans les sols traités au niveau du quatrième et cinquième stade, alors qu'elle est nettement plus inférieure au niveau du 2^{ème} stade, ça peut être

expliqué par le taux d'humidité élevé enregistré au niveau de ces stades (2) qui fait diminuer la résistance du sol.

- Pour ce qui est du troisième horizon, le constat est le même que le deuxième juste que la valeur de Rp atteint 14,08 (daN/cm²) au niveau du stade (5) pour les sols menés en semis direct et traités. Les valeurs de la résistance mécanique sont très rapprochés entre les deux types de sols traités et non traités.

Après ces observations et constats, et pour plus précision, une analyse statistique a été réalisée, elle va confirmer ou infirmer si la présence des mauvaises herbes a un effet sur la résistance mécanique du sol et si la plante se développe bien dans les sols traités.

Cela va nous conduire à analyser les différentes corrélations entre Rp des différents traitements.

11.3.2. L'analyse statistique de l'impact de l'infestation en mauvaises herbes sur la résistance pénétrométrique du sol

11.3.2.1. La corrélation entre Rp TCT et Rp TCNT

D'après l'analyse de la corrélation on constate qu'il y a une forte corrélation entre Rp TCT et Rp TCNT.

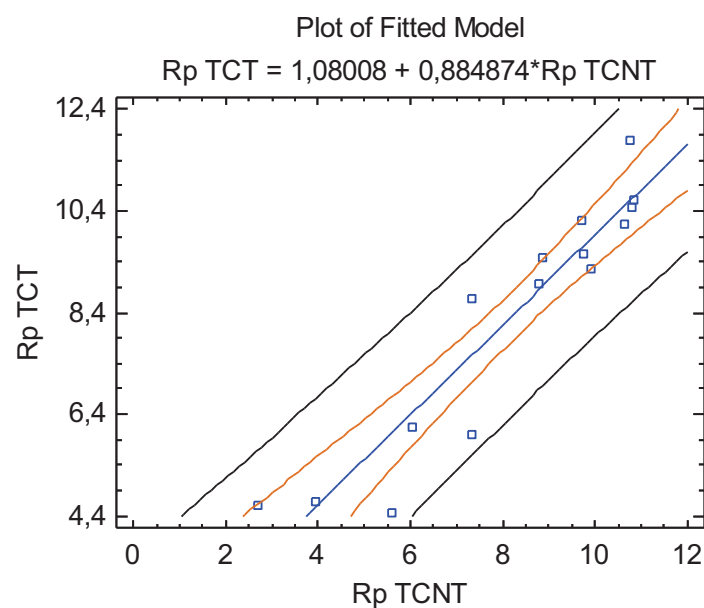


Figure 11.6 : courbe représentant la corrélation entre Rp TCT et Rp TCNT

L'analyse par régression linéaire, mettant en relation la variable Rp TCT avec la variable Rp TCNT, a donné la relation suivante :

$$Rp (TCT) = 1,08 + 0,88 *Rp (TCNT) \quad R^2 = 0,8817$$

(17)

Tenant compte de la valeur de p inférieure a 0,05 dans le tableau d'ANOVA, le modèle établi montre que la relation entre Rp (TCT) et Rp (SDT) est fortement significative a un niveau de confiance de 95%. Le coefficient de détermination $R^2 = 0,8817$ montre que le modèle est expliqué a 88.17 %. Le coefficient de corrélation est égal à 0,94, indiquant une relation relativement forte entre les variables.

11.3.3. La corrélation entre Rp SDT et Rp SDNT

D'après l'analyse de la corrélation on constate qu'il y a une forte corrélation entre Rp SDT et Rp SDNT.

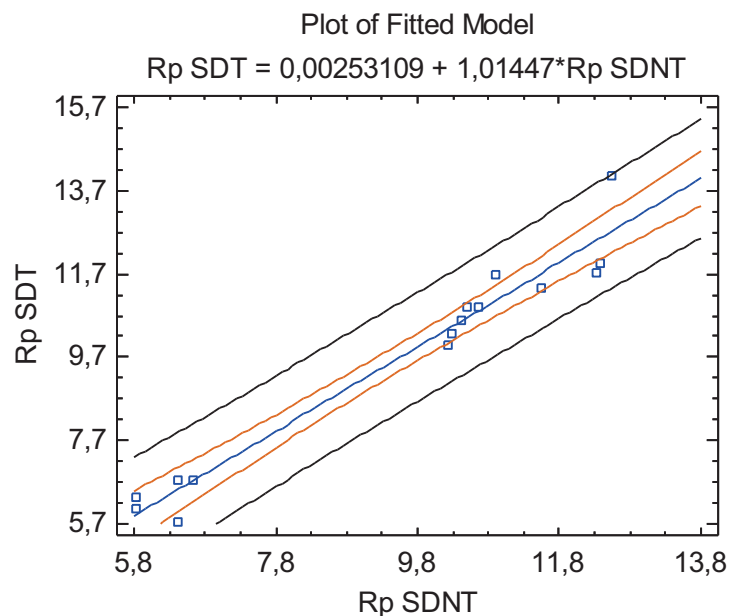


Figure 11.7 : courbe représentant la corrélation entre Rp SDT et Rp SDNT

L'analyse par régression linéaire, mettant en relation la variable Rp SDT avec la variable Rp SDNT, a donné la relation suivante :

$$R_p \text{ SDT} = 0,002 + 1,014 * R_p \text{ (SDNT)} \quad R^2 = 0,9537 \%$$

(18)

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 (TCT) et Rp (SDT) est fortement significative a un niveau de confiance de 95%. Le coefficient de détermination $R^2 = 0,9537$ montre que le modèle est expliqué a 95.37 %. Le coefficient de corrélation est égal à 0,97 indiquant une relation relativement forte entre les variables.

Ces deux relations montrent clairement que le traitement herbicide a un effet certain sur la résistance pénétrométrique du sol ; Nous constatons d'après ces deux formules et d'après l'étude faite précédemment sur l'analyse de la variation de la résistance mécanique du sol en relation avec le stade végétatif et la profondeur, que les parcelles non traitées, présente une faible résistance à la pénétration du cône, par rapport à celles travaillées.

11.4. Effet de l'infestation en mauvaises herbes sur le développement racinaire de la culture, la croissance de la plante, et le rendement final

11.4.1. Effet de l'infestation en mauvaises herbes sur le développement racinaire du blé dur

Les résultats obtenus, montrant la densité racinaire dans le sol, sont consignés et illustrés respectivement dans la figure suivante :

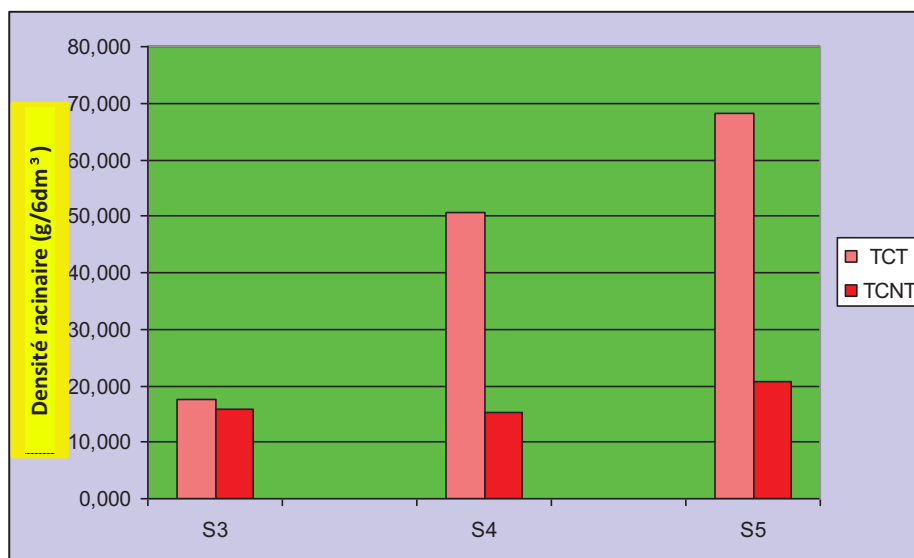


Figure 11.8 : variation de la densité racinaire pour TCT et TCNT

La figure ci-dessus représente la variation de la densité racinaire en fonction du traitement d'herbicide.

Cette figure montre clairement que la densité racinaire est nettement supérieure dans les sols traités.

Au niveau du premier stade qui est l'épiaison, on remarque que la densité racinaire est pratiquement la même pour le TCT et TCNT ; ou on enregistre des valeurs avoisinant les 17 (g/6dm³).

Pour le deuxième stade, le constat est tout à fait différent, puisque la densité racinaire est nettement supérieure au niveau des sols traités ou on enregistre une valeur de 50,66 (g/6dm³) contre 15,11 (g/6dm³) pour les sols non traités.

Pour le troisième stade, le constat est tout à fait le même à part que les valeurs de la densité sont beaucoup plus importante. La valeur de la densité atteint 68 (g/6dm³) pour TCT et 20 (g/6dm³) pour TCNT.

La variation de la densité racinaire pour SDT et SDNT est illustrée dans la figure suivante :

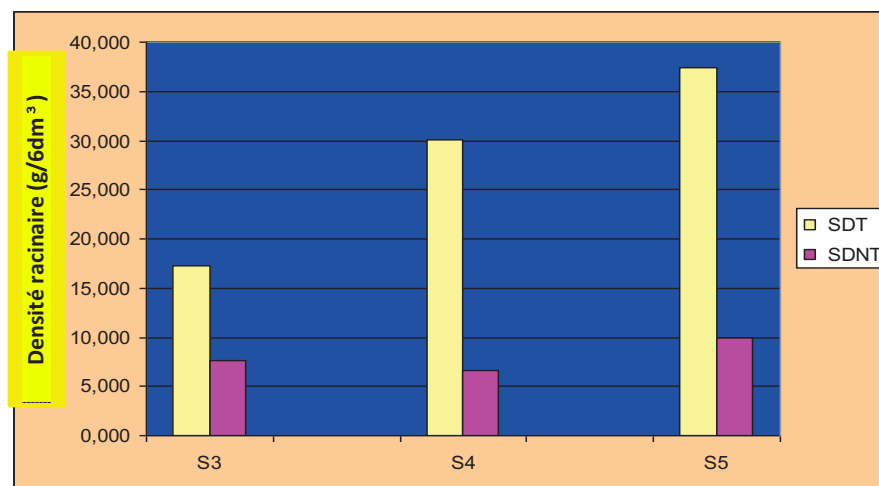


Figure 11.9 : variation de la densité racinaire pour SDT et SDNT

Cette figure montre clairement que la densité racinaire est nettement supérieure dans les sols traités avec l'herbicide.

Au niveau du premier stade qui est l'épiaison, on enregistre une augmentation sensible de la densité racinaire dans les sols traités avec 17 (g/6dm³) contre 7 (g/6dm³) pour les sols non traités.

Pour le deuxième stade, le constat est tout à fait le même, puisque la densité racinaire est nettement supérieure au niveau des sols traités ou on enregistre une valeur de 30 (g/6dm³) contre 6 (g/6dm³) pour les sols non travaillés et non traités.

Pour le troisième stade, le constat est tout à fait le même à part que les valeurs de la densité sont beaucoup plus importantes. La valeur de la densité atteint 37 (g/6dm³) pour SDT et 10 (g/6dm³) pour le semis direct non traité.

On peut conclure donc que le traitement herbicide a indirectement un effet considérable sur la résistance mécanique que ce soit dans les sols labourés ou non. Quand la parcelle est traitée, il y a donc moins de mauvaises herbes dans le sol donc moins de racines de mauvaises herbes, le sol moins humide, et comme on sait que la présence de l'humidité fait diminuer la résistance pénétrométrique, ce qui explique tout.

Donc dans les sols non traités les racines se développent bien mais il y aura concurrence du point de vue nutritif, et c'est ce que nous avons constaté au niveau des histogrammes précédent ou nous avons pu remarquer que la présence des mauvaises herbes fait diminuer la densité racinaire car il y a une concurrence entre les racines du blé et celles des mauvaises herbes.

Dans les sols labourés ce problème ne se pose pas trop puisque déjà le labour c'est un moyen de détruire les mauvaises herbes tandis que le semis direct pose problème car il faut une grande quantité d'engrais pour alimenter les plantes et parer à la concurrence des mauvaises herbes, mais ça va poser des problèmes liés à l'environnement quand on sait que la fertilisation azotée et phosphatée ainsi que les pratiques culturales ont des conséquences plus ou moins rapides et intenses sur la qualité des eaux, le problème de la qualité des eaux se présente de manière de plus en plus aiguë dans notre pays.

11.4.2. Effet du traitement à l'herbicide sur la croissance de la culture

L'ensemble des résultats de l'effet de la lutte chimique sur la croissance de la culture sont représentés dans les figures ci-dessous :

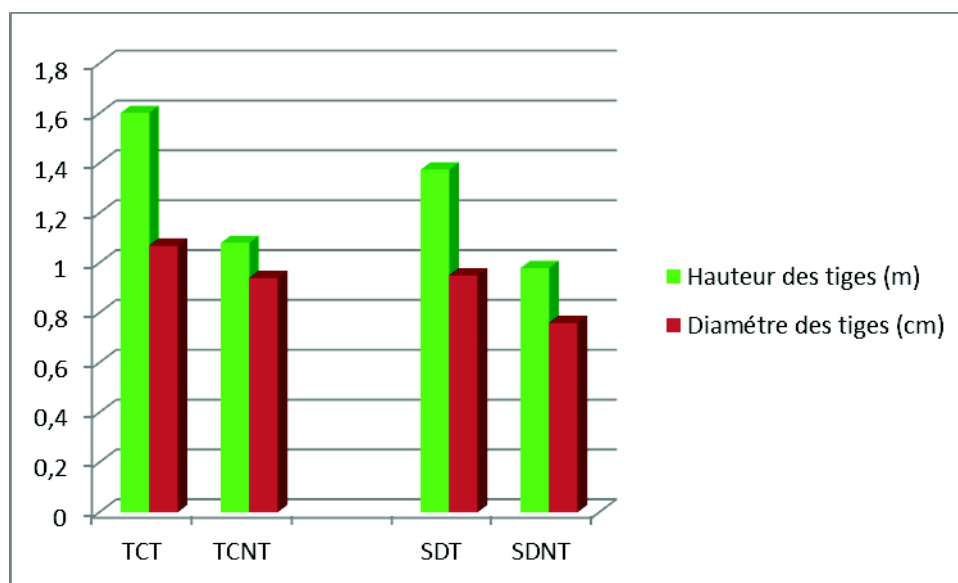


Figure 11.10: estimation de la hauteur et du diamètre des tiges du sorgho fourrager

- **Test t pour deux échantillons (Diamètre) SDT et SDNT / Test bilatéral :**

Différence	0,191
t (Valeur observée)	4,176
t (Valeur critique)	2,002
p-value (bilatérale)	0,000
Alpha	0,05

- **Test t pour deux échantillons (Diamètre) TCT et TCNT / Test bilatéral :**

Différence	0,136
t (Valeur observée)	5,055
t (Valeur critique)	2,002
p-value (bilatérale)	< 0,0001
Alpha	0,05

- **Test t pour deux échantillons (Hauteur) SDT et SDNT / Test bilatéral :**

Différence	39,202
t (Valeur observée)	8,840
 t (Valeur critique)	2,002
p-value (bilatérale)	< 0,0001
Alpha	0,05

- **Test t pour deux échantillons (Hauteur) TCT et TCNT / Test bilatéral :**

Différence	51,678
t (Valeur observée)	11,200
 t (Valeur critique)	2,002
p-value (bilatérale)	< 0,0001
Alpha	0,05

- **Diagramme de dominance**

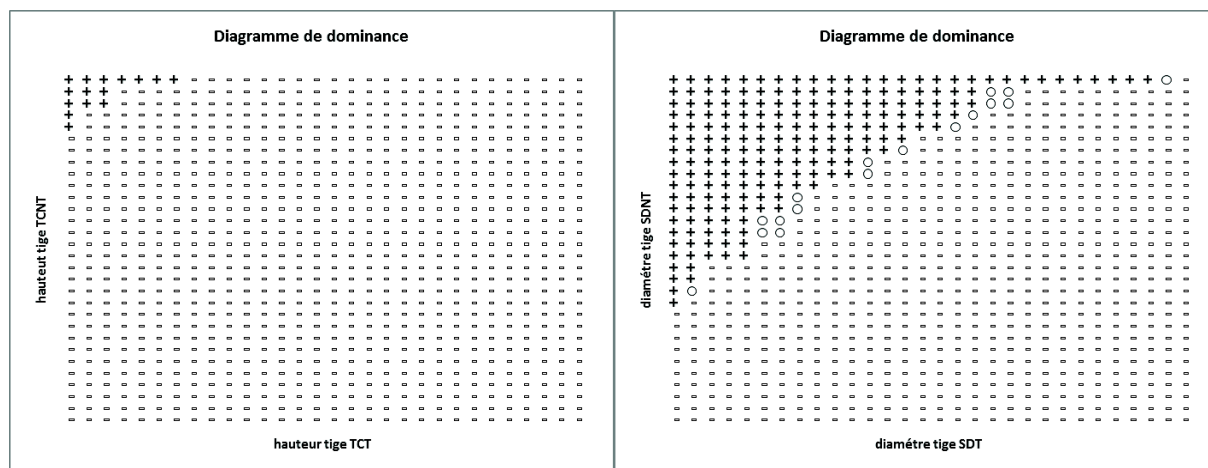


Figure 11.11 : diagramme de dominance de la hauteur et du diamètre des tiges du sorgho

A travers les résultats présentés précédemment, il apparaît clairement que la croissance de plante que ce soit la hauteur ou le diamètre des tiges dépends en grande partie de l'éradication chimique de mauvaises herbes, ces dernières livrent une rude concurrence au sorgho fourrager en le privant de lumière, d'eau et d'éléments nutritifs.

Les résultats montrent que la hauteur des tiges atteinte en SDT est de 137 cm contre 98 cm pour SDNT soit un écart de 39 cm, ce qui n'est pas négligeable ; alors que la hauteur en TCT mesurée est de 160 cm contre 108 cm soit un écart de 52 cm.

Par ailleurs, l'analyse de la variance met en évidence un effet très hautement significatif du traitement chimique sur les mauvaises herbes.

Pour ce qui est du diamètre des tiges, le constat est le même, on enregistre des diamètres plus importants en système traité par rapport à celui laissé en témoin, le diamètre moyen mesuré est de 107 cm en TCT contre 0,94 cm en TCNT soit un écart de 13 cm. Alors qu'un écart de 18 cm est mesuré entre SDT et SDNT. L'analyse de la variance confirme qu'il y a un effet hautement significatif du traitement chimique sur les paramètres de croissance de la plante à savoir le diamètre et la hauteur des tiges.

On peut conclure donc que la lutte chimique est importante dans la bonne croissance des plantes, elle a un effet certain sur le diamètre et la hauteur des tiges. Cependant on obtient la meilleure hauteur ainsi que le meilleur diamètre en sols travaillés et traités.

11.4.3. Effet du traitement à l'herbicide sur le rendement du blé dur

11.4.4. L'incidence traitement herbicide sur le poids de mille grains

Les figures ci-dessous représentent la variation du poids de mille grains pour les parcelles traitées et non traitées à l'herbicide.

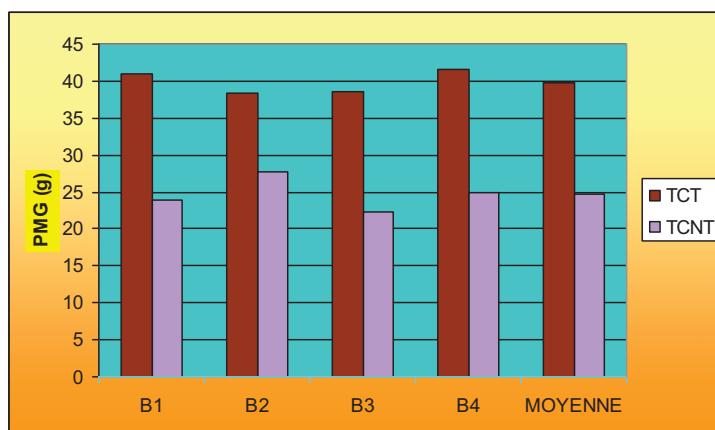


Figure 11.12 : variation du PMG pour les parcelles travaillées en fonction du traitement herbicide

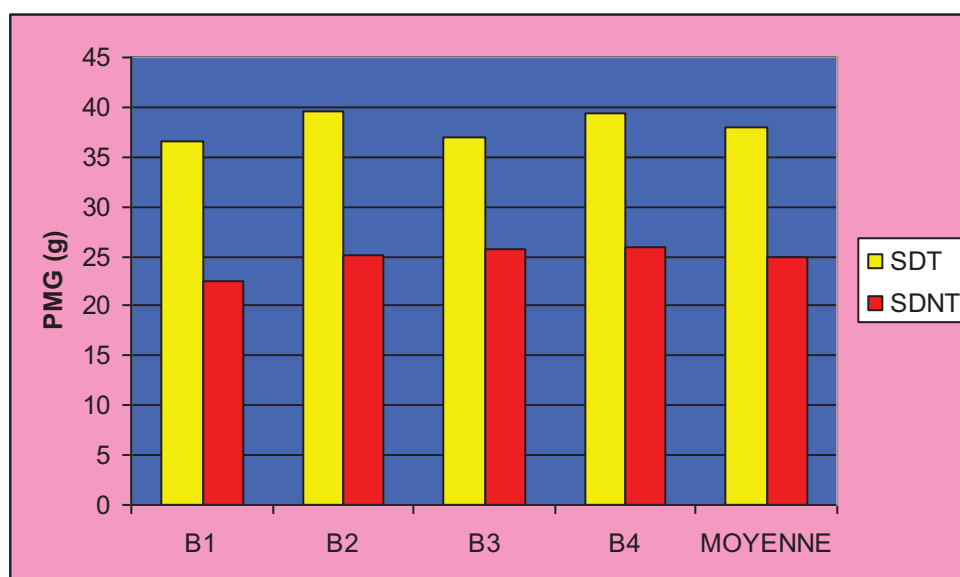


Figure 11.13 : variation du PMG pour les parcelles non travaillées en fonction du traitement herbicide

Ce que nous pouvons constater en premier lieu dans les figures est l'effet du traitement à l'herbicide sur le poids de mille grains. Pour la première figure, ou nous avons les parcelles travaillées, il apparaît que le poids de mille grains est nettement meilleur pour les parcelles traitées à l'herbicide par rapport à celles non traitées, la valeur moyenne enregistrée pour le T.C.T est de 39,84 g, alors que celle obtenue pour le T.C.N.T est de 24,68 g.

Pour la deuxième figure, ou les parcelles n'ont pas été travaillées, le poids de mille grains est nettement supérieur dans les parcelles traitées où on enregistre une moyenne de 38,06 g contre 24,81 g pour les parcelles infestées par les mauvaises herbes.

11.4.4.1.1. L'analyse de la variance de l'effet du traitement à l'herbicide sur le poids de mille grains

D'après l'analyse de la variance, le traitement à l'herbicide n'a pas eu d'incidence significative sur l'expression de cette composante.

Tableau 11.1 : analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	1	0,124	0,124	0,032	0,874
Erreur	2	7,667	3,833		
Total corrigé	3	7,791			

11.4.4.2. L'incidence traitement herbicide sur le nombre de grains par épi

Les deux figures ci-dessous illustrent la variation du nombre de grains par épi pour les parcelles traitées et non traitées à l'herbicide.

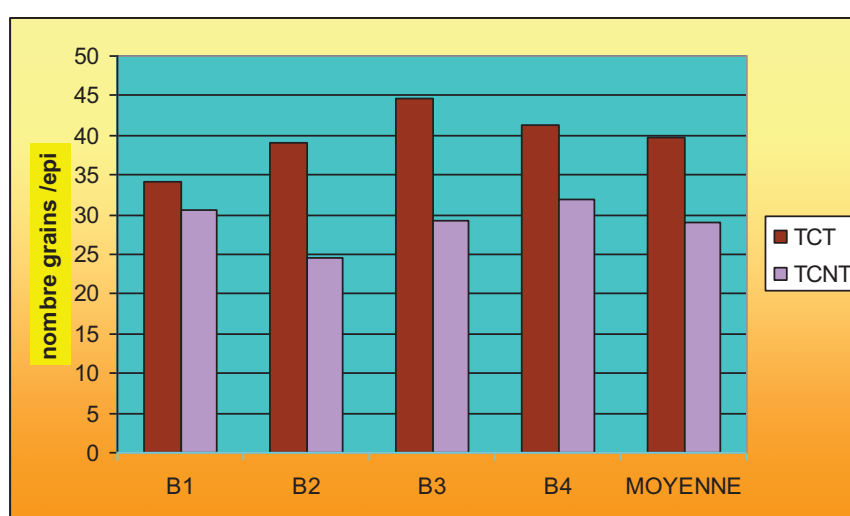


Figure 11.14 : variation du nombre de grains par épi en fonction du traitement herbicide pour les parcelles travaillées

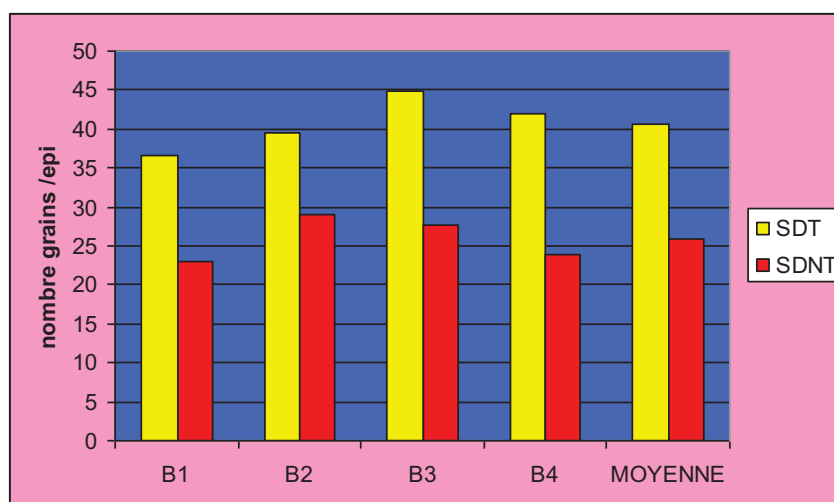


Figure 11.15: variation du nombre de grains par épi en fonction du traitement herbicide pour les parcelles non travaillées

D'après la première figure, on constate bien que le nombre de grains est bas pour les deux cas avec un net avantage pour les parcelles traitées ou on a une moyenne de 40 grains contre 29 pour les non traités.

Pour la deuxième figure, on remarque un net avantage pour les parcelles traitées à l'herbicide avec une moyenne de 41 grains contre 26 grains pour les non traités.

L'analyse de la variance montre qu'il n'y a pas d'effet du traitement herbicide sur le nombre de grains par épi.

Tableau 11.2: analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	1	22,938	22,938	0,096	0,786
Erreur	2	479,812	239,906		
Total corrigé	3	502,750			

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

11.4.4.3. L'incidence du traitement à l'herbicide sur le nombre d'épi par m²

Les figures ci-dessous représentent la variation du nombre d'épi par m² pour deux techniques culturales avec et sans traitement à l'herbicide :

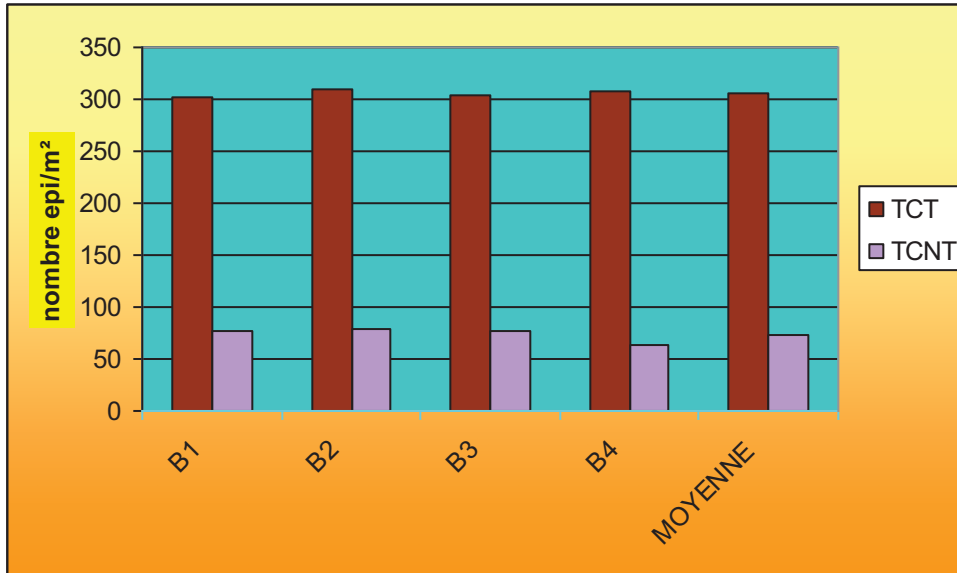


Figure 11.16 : la variation du nombre d'épi/m² pour le TCT et le TCNT

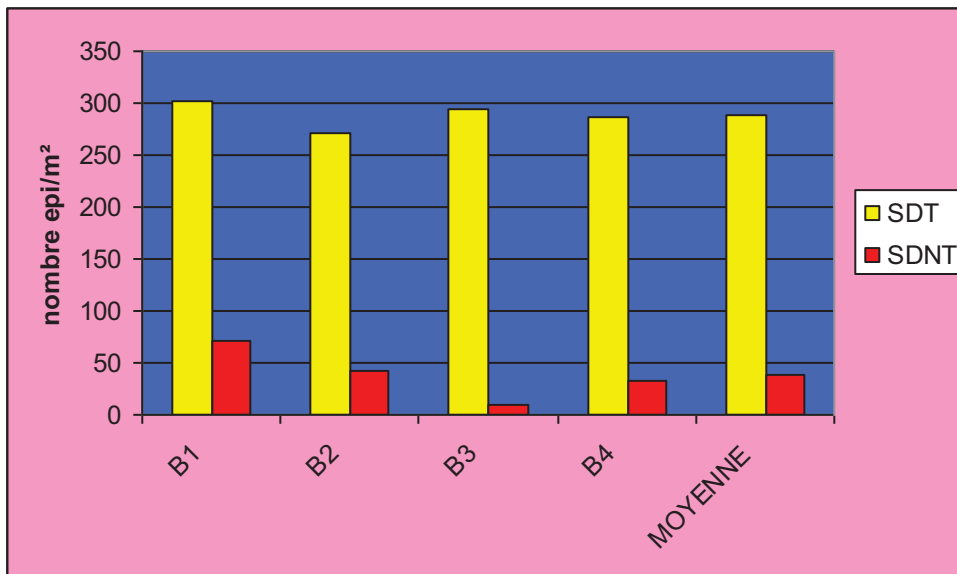


Figure 11.17 : la variation du nombre d'épi/m² pour le SDT et le SDNT

Les figures ci-dessus montrent que le meilleur peuplement a été obtenu au niveau des parcelles traitées avec une moyenne de 306 épis /m² pour le TCT, alors qu'on a enregistré une valeur largement plus basse pour le TCNT : 74 épis/m², alors que le nombre d'épi/m² dans parcelles menées en semis direct et traité atteint une moyenne de 289 épis/m² contre 39 épis/m² enregistrées pour les parcelles non traitées. Cela prouve que le traitement herbicide a eu un effet positif sur cette composante du rendement, qui elle conditionne en grande partie le rendement final du blé.

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 11.3 : analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	1	4,301	4,301	0,263	0,659
Erreur	2	32,699	16,350		
Total corrigé	3	37,000			

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

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 plus ou moins faibles relativement au potentiel de la variété qui possède un bon pouvoir de tallage et donc un bon peuplement épi. Ceci nous a amené à penser à la technique culturale utilisée qui favorise le moins le développement des mauvaises herbes dans le but d'éviter un mauvais développement racinaire et par conséquent, un faible peuplement épi par unité de surface.

11.4.4.4. L'incidence du traitement herbicide sur le rendement estimé du blé dur

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 faible au niveau des parcelles non traitées, et c'est ce que nous allons vérifier en commençant par analyser les figures qui suivent :

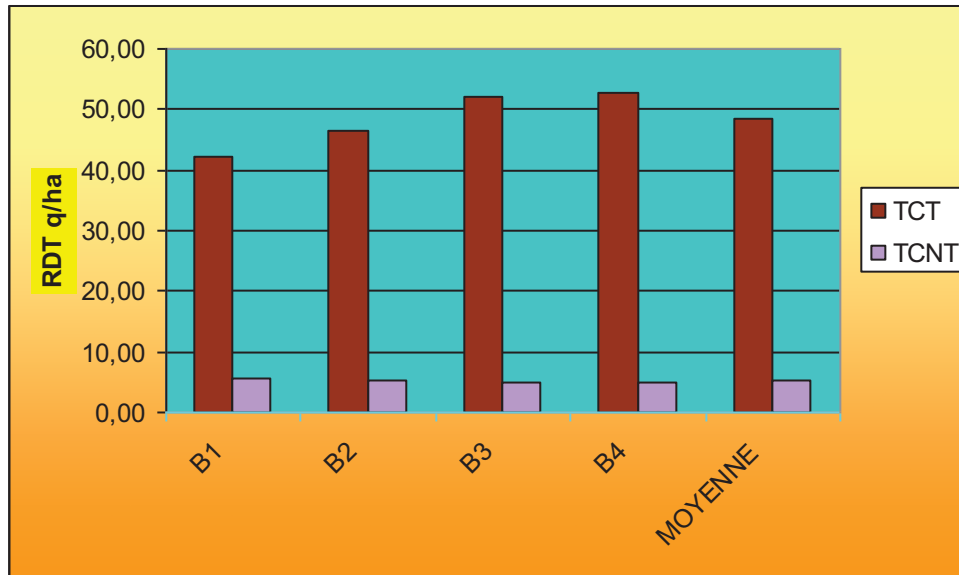


Figure 11.18 : variation du rendement théorique pour les sols travaillés en fonction du traitement à l'herbicide

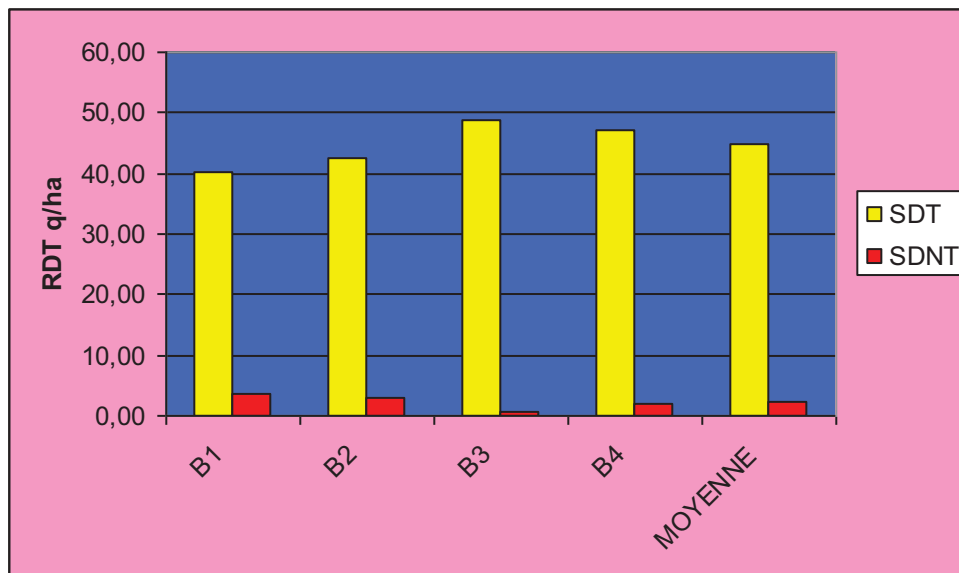


Figure 11.19 : variation du rendement théorique pour les sols non travaillés en fonction du traitement à l'herbicide

D'après ces deux figures, on peut constater que le rendement théorique est nettement supérieur dans les parcelles traitées ou on enregistre un rendement théorique atteignant en moyenne 48 q/ha ans les sols travaillés et traités à l'herbicide contre une moyenne de 5 q/ha pour le TCNT.

Pour ce qui est des parcelles menées en semis direct, le constat est le même puisque le rendement dans les parcelles traitées est meilleur par rapport à celui des sols menés en semis direct et non traités à l'herbicide avec une différence entre les deux cas de 42 q/ha.

11.4.4.4.1. L'analyse statistique de l'effet du traitement à l'herbicide sur le rendement estimé du blé dur

L'analyse statistique montre clairement un effet significatif du traitement herbicide sur le rendement théorique.

Tableau 11.4 : analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	1	69,194	69,194	27,054	0,035
Erreur	2	5,115	2,558		
Total corrigé	3	74,309			

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

11.4.4.4.2. La corrélation entre RDT (TCT) et RDT (TCNT)

D'après l'analyse de la corrélation on constate qu'il y a une forte corrélation entre RDT (TCT) et RDT (TCNT).

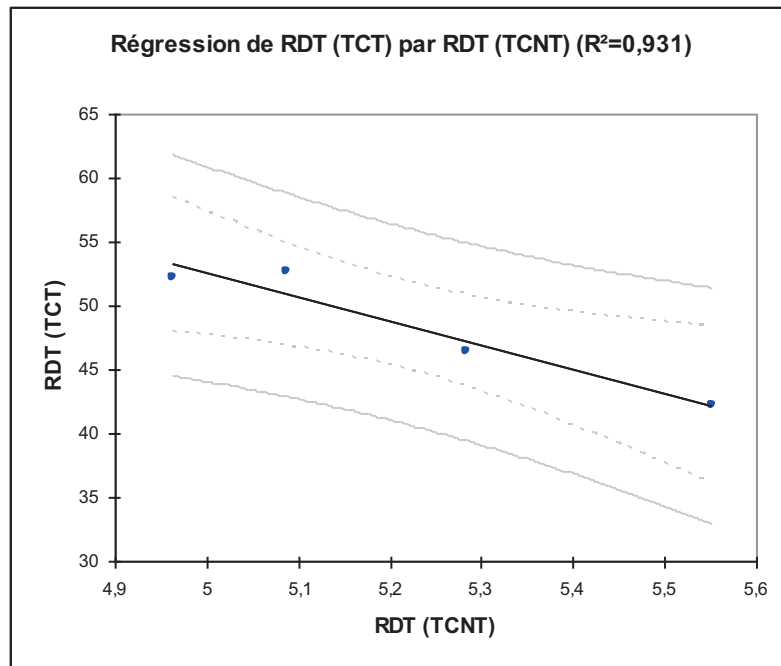


Figure 11.20 : courbe représentant la corrélation entre RDT (TCT) et RDT (TCNT)

L'analyse par régression linéaire, mettant en relation la variable RDT (TCT) avec la variable RDT (TCNT), a donné la relation suivante :

$$\text{RDT (TCT)} = 145,96 - 18,68 * \text{RDT (TCNT)} \text{ avec: } R^2 = 0,931$$

(19)

Tenant compte de la valeur de p inférieure à 0,05 dans le tableau d'ANOVA, le modèle établi montre que la relation entre RDT (TCT) et RDT (TCNT) est fortement significative à un niveau de confiance de 95%. Le coefficient de détermination $R^2 = 0,931$ montre que le modèle est expliqué à 93.31 %. Le coefficient de corrélation est égal à 0,965 indiquant une relation relativement forte entre les variables.

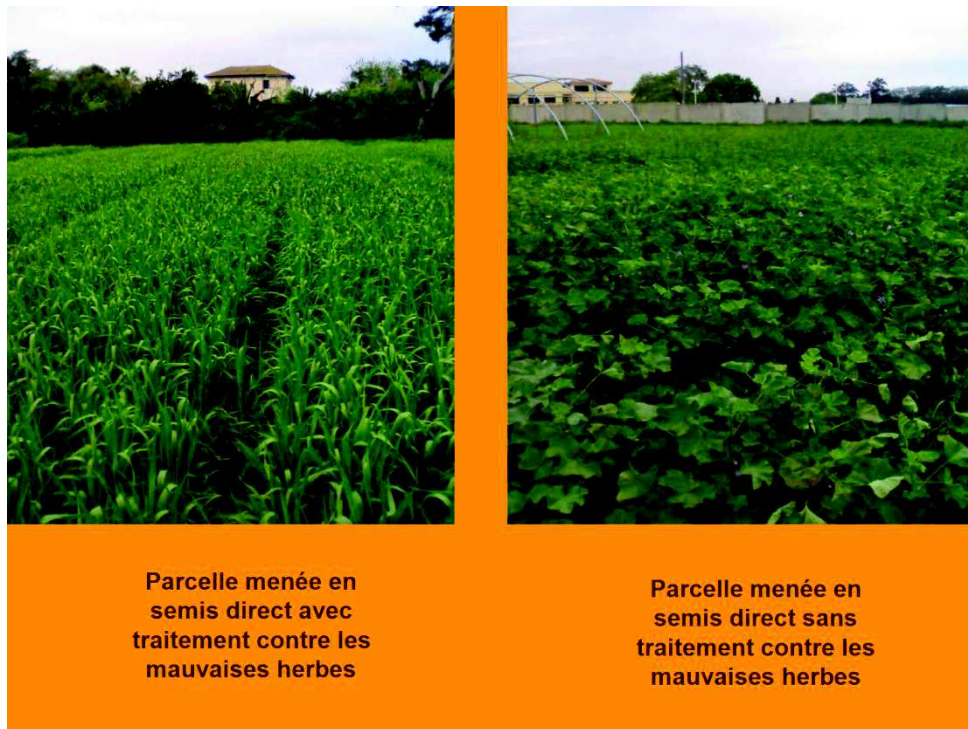


Figure 11.21 : photos montrant l'effet de l'herbicide sur la culture

Cette relation montre clairement que le traitement à l'herbicide a un effet certain sur le rendement de la culture. Nous constatons d'après cette équation et d'après les histogrammes que les parcelles travaillées avec la charrue à socs et traitées, présentent un rendement supérieur par rapport à celles travaillées et non traitées, cela peut être dû à la concurrence des mauvaises herbes qui privent les plantes du blé de l'alimentation et l'eau et ce qui a inhibé le développement des racines et qui s'est répercuté sur le rendement.



Figure 11.22 : Effet des techniques culturales et des traitements à l'herbicide sur la culture

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/m^2 est appelé poids à la densité critique et il découle de la densité des plants ($plants/m^2$) 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.

Les résultats obtenus au terme de la conduite de la culture du blé montrent que le semis direct présente un inconvénient majeur à savoir la maîtrise des mauvaises herbes, contrairement au travail du sol classique qui est en soit même une destruction mécanique et efficace des mauvaises herbes. Le rendement du blé est influencé beaucoup par l'infestation en mauvaises herbes et leurs destruction est indispensable.

La simplification du travail du sol entraîne une évolution du parasitisme défavorable (infestation par les mauvaises herbes et infection par les maladies cryptogamiques). Ces remarques font ressortir l'importance des labours par rapport aux techniques de semis direct qui demande beaucoup d'herbicide vu le développement conséquent des mauvaises herbes sur les parcelles non travaillées. Dans les sols labourés ce problème ne se pose pas trop puisque déjà le labour c'est un moyen de détruire les mauvaises herbes (lutte mécanique) tant dis le semis direct pose problème car il faut une grande quantité d'engrais pour alimenter les plantes et parer à la concurrence des mauvaises herbes, mais ça va poser des problèmes liés à l'environnement.

D'une manière générale on peut conclure que les pertes de rendement entre les parcelles témoins et les parcelles désherbées sont la conséquence de la concurrence rude livrée à la culture par les mauvaises herbes pour la lumière, l'eau et les éléments nutritifs tel que l'azote. La lutte chimique semble être inévitable pour la réduction des pertes de rendement.

11.5. Analyse de l'efficacité du traitement chimique en travail conventionnel et semis direct

Dans cette partie nous étudierons l'effet du traitement herbicide sur la variation de la densité et la biomasse des mauvaises herbes, on tentera de quantifier l'efficacité du traitement à l'herbicide en semis direct et en travail du sol classique.

11.5.1. Les espèces adventices recensées au cours de l'expérimentation

Les observations sont réalisées de façon globale sur chaque parcelle, en parcourant la parcelle et en notant les mauvaises herbes les plus importantes et les plus visibles. Dans les différents points de prélèvement retenus, la flore adventice est très variée : 14 espèces ont été dénombrées lors du prélèvement effectué.

Le tableau ci-dessous représente la liste des mauvaises herbes recensées dans notre parcelle.

Tableau 11.5: Liste des mauvaises herbes recensées au cours de notre expérimentation.

Nom latin	Famille	Nom commun
<i>Anacyclus clavatus</i>	Astéracées	Anacycle tomenteux
<i>Anagallis arvensis</i>	Primulacées	Mouron rouge
<i>Chenopodium album</i>	Chénopodiacées	Chénopode blanc
<i>Convolvulus arvensis</i>	Convolvulacées	Liseron des champs
<i>Cyperus rotundus</i>	Cypéracées	Souchet rond
<i>Erigeron bonariensis</i>	Astéracées	Erigéron crépu
<i>Euphorbia peplus</i>	Euphorbiacées	Ésule ronde
<i>Fumaria officinalis</i>	Papavéracées	Fumeterre
<i>Lolium multiflorum</i>	Poacées	Ray-grass
<i>Medicago sativa</i>	Fabacées	Luzerne
<i>Papaver hybridum</i>	Papavéracées	Coquelicot
<i>Portulaca oleracea</i>	Portulacacées	Pourpier maraîcher
<i>Senecio vulgaris</i>	Astéracées	Séneçon commun
<i>Sinapis arvensis</i>	Brassicacées	Moutarde des champs
<i>Solanum nigrum</i>	Solanacées	Morelle noire
<i>Sonchus oleraceus</i>	Astéracées	Laiteron maraîcher

11.5.2. Analyse de l'efficacité du traitement chimique sur l'éradication des mauvaises herbes

Le développement des mauvaises herbes est quantifié par deux paramètres à savoir la densité et la biomasse des mauvaises herbes. L'analyse comparative a été effectuée entre **TCT et TCNT** d'un côté et **SDT et SDNT** d'un autre côté.

11.5.2.1. La densité des mauvaises herbes

Avant d'analyser l'évolution de la densité des mauvaises herbes, nous évaluons le degré d'efficacité de l'herbicide à l'aide de l'échelle E.W.R.S, cette méthode est basée sur l'évaluation du pourcentage de destruction des mauvaises herbes. Les résultats de l'évaluation sont mentionnés dans les tableaux suivants :

Tableau 11.6: évaluation du degré d'efficacité de l'herbicide dans les parcelles semis direct

Stades	D (plant/m ²) SDNT	D (plant/m ²) SDT	% de destruction	l'échelle
42 jrs après 1er traitement	158,00	42,67	73	4
42 jrs après 2ème traitement	225,33	36,00	84	4

Tableau 11.7: évaluation du degré d'efficacité de l'herbicide dans les parcelles travail du sol classique

Stades	D (plant/m ²) TCT	D (plant/m ²) TCNT	% de destruction	l'échelle
42 jrs après 2ème traitement	41,60	86,13	52	3

On a utilisé deux herbicides, le premier c'est un herbicide à double action anti-dicotylédone et anti-cotylédons, son nom commercial est Roundup turbo, et le deuxième c'est un herbicide sélectif Damine efficace pour les adventices dicotylédones.

Au vu des résultats de l'évaluation de l'efficacité de l'herbicide, on peut dire qu'il a eu un effet destructeur sur les parcelles menées en semis direct puisque l'efficacité est située à l'échelle 04.

Pour ce qui est des parcelles travaillées, l'efficacité est située à l'échelle 03, moins que le semis direct, cela est expliqué par le fait que les parcelles ont subi déjà une destruction mécanique, donc la différence entre les parcelles traitées et non traitées n'est pas aussi visuelle que lorsqu'on est en semis direct.

Les résultats de la densité des mauvaises herbes mesurés dans les parcelles traitées et non traitées sont représentés dans les figures ci-dessous :

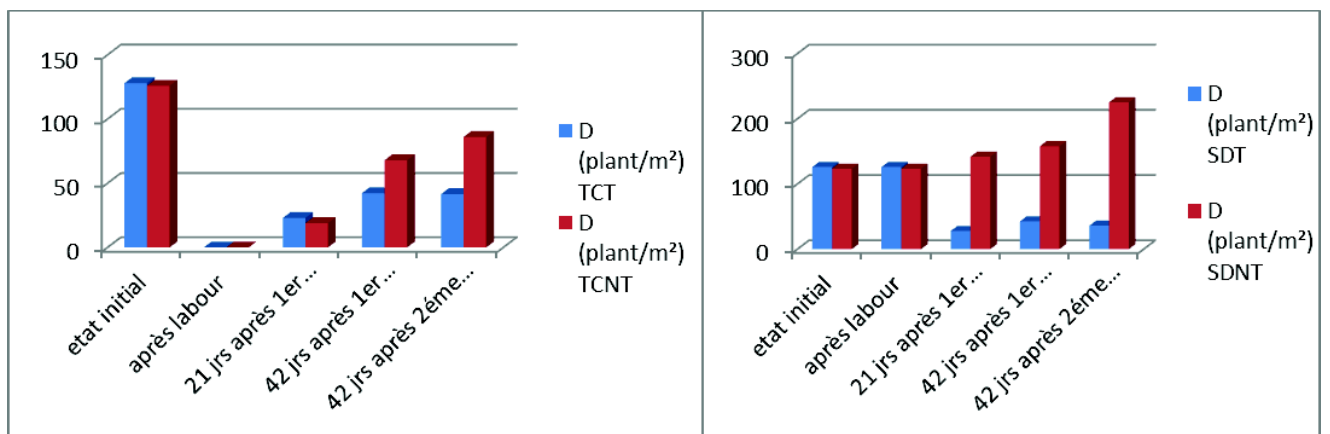


Figure 11.23.24: représentation de la densité des mauvaises herbes pour TCT/TCNT et SDT/SDNT

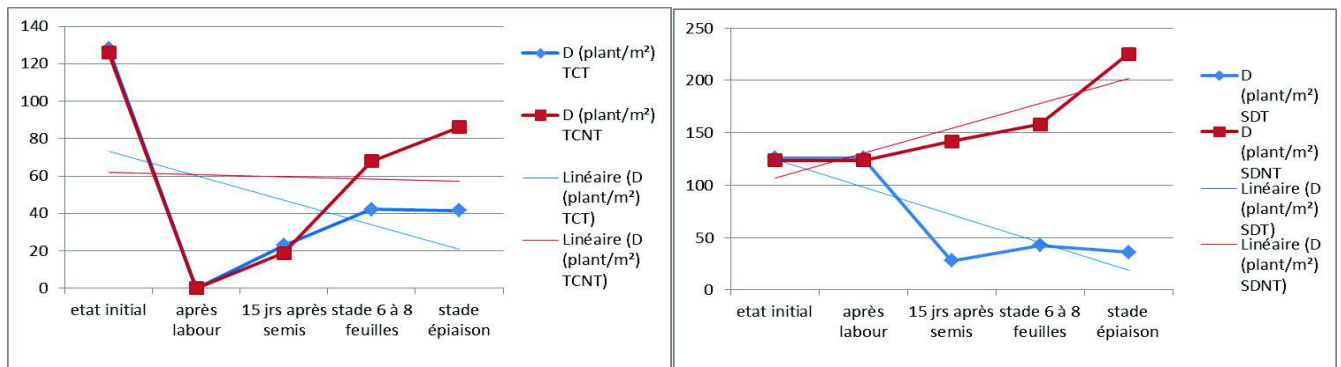


Figure 11.25.26: évolution de la densité des mauvaises herbes au cours des stades de développement du sorgho fourrager

• **Test t pour deux échantillons SDT et SDNT / Test bilatéral :**

Différence	-82,707
t (Valeur observée)	-6,619
 t (Valeur critique)	1,976
p-value (bilatérale)	< 0,0001
Alpha	0,05

L'analyse des résultats présentés ci-dessus montre une efficacité de l'herbicide contre les mauvaises herbes. En système de semis direct on a appliqué deux traitements à l'herbicide, on a obtenu une densité de 28 plant/m² après 21 jours du 1^{er} traitement contre une augmentation de 19 plant/m² dans les parcelles non traitées.

42 jours après le 1^{er} traitement, la densité a augmenté de 14 plant/m² dans les parcelles traitées contre 16 plant/m² pour SDNT. On a appliqué ensuite un 2^{ème} traitement, et il s'est avéré efficace puisque l'écart entre le SDT et le SDNT au stade épiaison était de 183 plant/m². L'analyse de la variance a montré qu'il y a un effet très hautement significatif du traitement à l'herbicide sur la densité des mauvaises herbes en semis direct.

Pour les parcelles travaillées conventionnellement, le constat est à peu près le même qu'en semis direct puisque on enregistre des densités importantes dans les parcelles non traitées par rapports à celles traitées à l'herbicide mais l'écart n'est pas important comme au semis direct, il est de l'ordre de 44 plant/m² avec un seul traitement à l'herbicide pendant la campagne. L'analyse de la variance ne montre pas un effet significatif du traitement sur la densité des mauvaises herbes en travail conventionnel (la p-value calculée = 0,08 est supérieure au niveau de signification seuil alpha=0,05), on peut déduire que le traitement à l'herbicide n'a pas autant d'influence sur les mauvaises herbes que le travail du sol contrairement au semis direct où la maîtrise des adventices reste un problème crucial qui conditionne en grande partie la réussite de la culture.

11.5.2.2.la biomasse des mauvaises herbes

Le deuxième paramètre étudié relatifs à l'évaluation de la flore adventice est la biomasse exprimée en g/m². Les résultats de l'analyse de la biomasse des mauvaises herbes sous l'effet du traitement à l'herbicide sont représentés dans les figures suivantes :

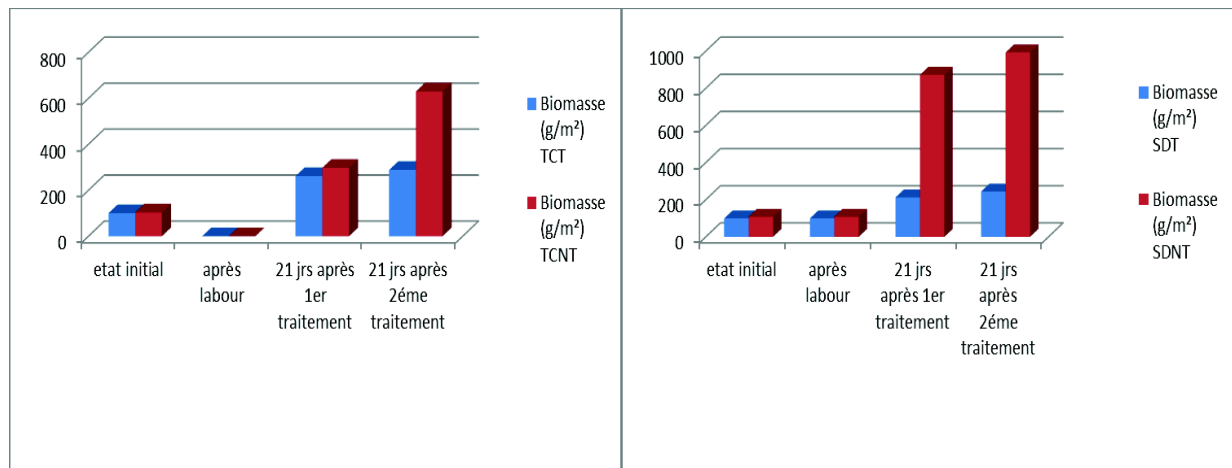


Figure 11.27: analyse de l'effet de l'herbicide sur la biomasse des mauvaises herbes

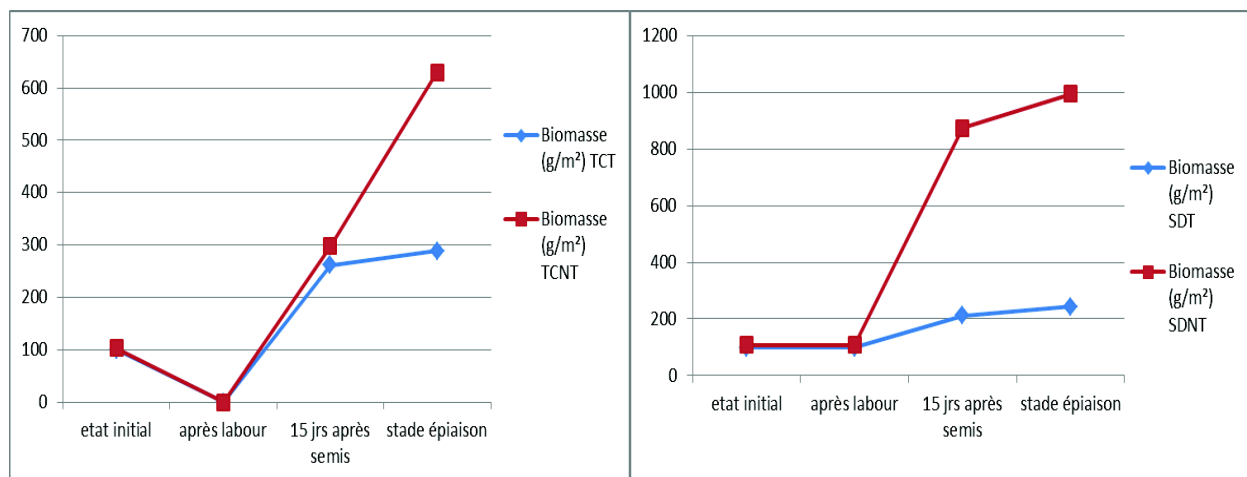


Figure 11.28: évolution de la biomasse des mauvaises herbes au cours des stades de développement du sorgho fourrager

- **Test t pour deux échantillons TCT et TCNT / Test bilatéral :**

Différence	-192,356
t (Valeur observée)	-3,756
 t (Valeur critique)	1,987
p-value (bilatérale)	0,000
Alpha	0,05

- **Test t pour deux échantillons SDT et SDNT / Test bilatéral :**

Différence	-472,800
t (Valeur observée)	-6,897
 t (Valeur critique)	1,987
p-value (bilatérale)	< 0,0001
Alpha	0,05

- **Le diagramme de dominance**

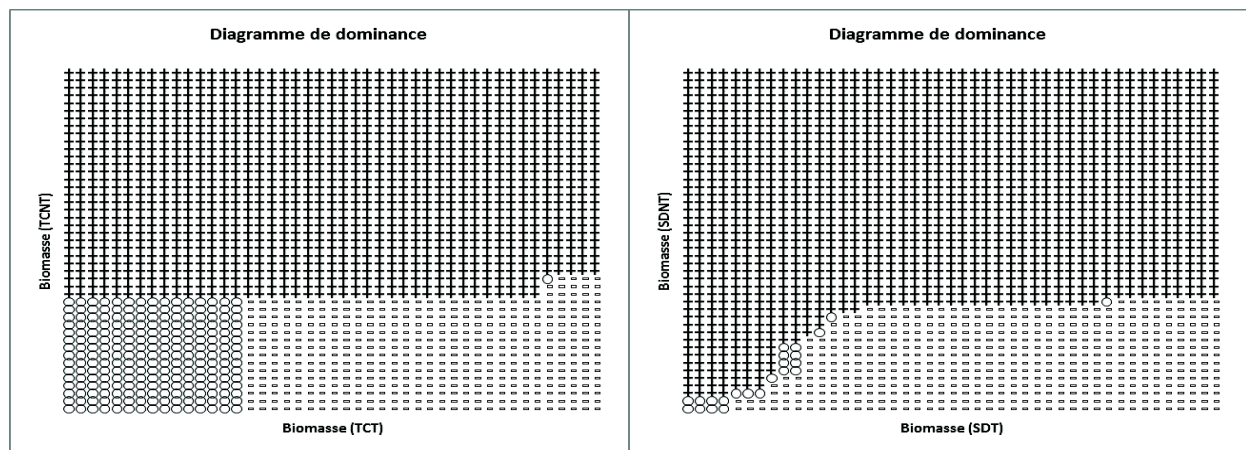


Figure 11.29: diagramme de dominance de la biomasse des mauvaises herbes



Figure 11.30: photo illustrant l'efficacité du traitement à l'herbicide

D'après les résultats présentés ci-dessus, on peut dire que la biomasse présente la même tendance que la densité. Dans les sols non travaillés, on constate que la biomasse atteint au stade épiaison une valeur de 993 g/m^2 en SDNT contre 244 g/m^2 soit une différence de plus de 750 g/m^2 , donc l'effet du traitement est clair. Pour les sols travaillés, la biomasse semble être plus importante dans les sols non traités mais avec une différence par rapport au TCT de 340 g/m^2 au stade épiaison.

L'analyse statistique montre qu'il y a un effet hautement significatif du traitement à l'herbicide sur la biomasse des mauvaises herbes.

11.6. Analyse des relations entre les différents paramètres étudiés.

11.6.1. Présentation de la matrice de corrélation de tous les paramètres étudiés

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. La matrice de corrélation de tous les paramètres entre eux est présentée en annexe.

11.6.2. Influence de l'humidité du sol sur le développement de la flore adventice

D'après l'analyse de la corrélation on constate qu'il y a une forte corrélation entre l'humidité du sol comme variable dépendante et la densité des mauvaises herbes comme variable indépendante.

L'analyse par régression linéaire, mettant en relation les deux variables a donné la relation suivante :

$$\text{H\% TC} = 14,18 - 0,027 * \text{D (TC)}$$

(20)

Avec : $R = -0,99$

$R^2 = 0,97$

Tenant compte de la valeur de p inférieure à 0,05 dans le tableau d'ANOVA, le modèle établi montre que la relation entre l'humidité du sol et la densité des mauvaises herbes est fortement significative à un niveau de confiance de 95%. Le coefficient de détermination $R^2 = 0,97$ montre que le modèle est expliqué à 97 %. Le coefficient de corrélation est égal à -0,99, indiquant une forte relation entre les variables.

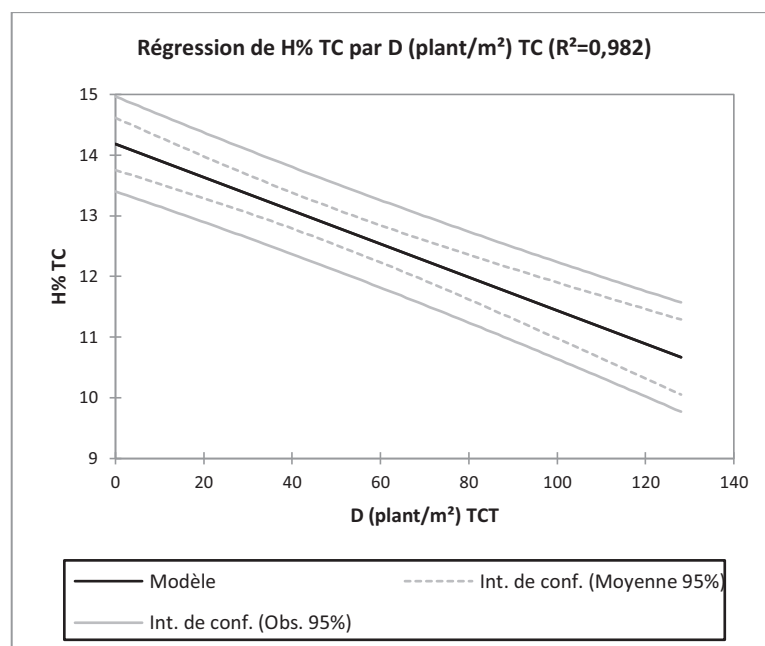


Figure 11.31: courbe de régression entre H% et Densité des mauvaises herbes

L'humidité du sol est donc corrélée négativement avec la densité des mauvaises herbes, ils sont inversement proportionnels, ceci peut être expliqué par le fait que la densité de la flore adventice augmente dans le sol, ces derniers exercent une concurrence accrue à la culture en place et épuisent donc le stock hydrique du sol, et ça conduit à une diminution de l'humidité du sol.

11.6.3. Influence de l'humidité sur la croissance de la plante

D'après l'analyse de la corrélation on constate qu'il y a une forte corrélation entre la hauteur des tiges comme variable dépendante et l'humidité du sol comme variable indépendante.

L'analyse par régression linéaire, mettant en relation les deux variables a donné la relation suivante :

$$\text{Hauteur tige (SD)} = 33,43 + 5,75 * \text{H\% SD} \quad (21)$$

Avec : $R = 0,95$

$R^2 = 0,90$

Tenant compte de la valeur de p inférieure à 0,05 dans le tableau d'ANOVA, le modèle établi montre que la relation entre l'humidité du sol et la densité des mauvaises herbes est fortement significative à un niveau de confiance de 95%. Le coefficient de détermination $R^2 = 0,9$ montre que le modèle est expliqué à 90%. Le coefficient de corrélation est égal à 0,95, indiquant une forte relation entre les variables.

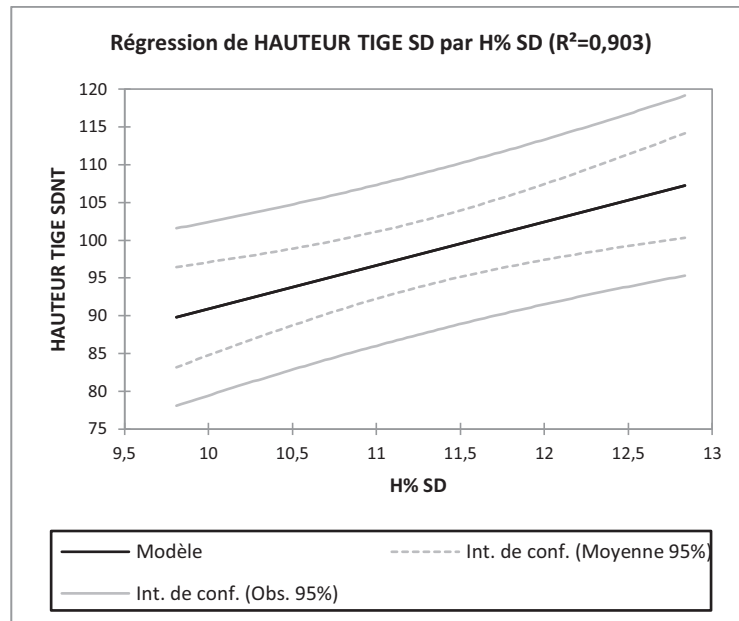


Figure 11.32: courbe régression de hauteur tige (SD) par H% SD ($R^2=0,903$)

D'après ces résultats de corrélation, il apparaît clairement que l'humidité influe fortement la croissance de la plante, elle est proportionnelle à la hauteur de la tige, quand l'humidité augmente, la hauteur des tiges croit. Ce constat fait ressortir l'importance d'avoir un stock hydrique important dans le sol pour permettre un bon développement de la plante. Or on a pu conclure dans les chapitres précédents qu'une bonne humidité est obtenue au niveau des sols travaillés, donc le choix de la technique culturale mise en place à une importance capitale pour l'obtention de bons rendements.

11.6.4. Effet de la présence des mauvaises herbes sur les pertes en rendement

D'après l'analyse de la corrélation on constate qu'il y a une forte corrélation entre rendement comme variable dépendante et la densité des mauvaises herbes comme variable indépendante.

L'analyse par régression linéaire, mettant en relation les deux variables a donné la relation suivante :

$$\mathbf{RDT (SDT) = 32,27 - 0,16 * D (SDT)} \quad (22)$$

Avec : $R = - 0,93$

$R^2 = 0,87$

Tenant compte de la valeur de p inférieure à 0,05 dans le tableau d'ANOVA, le modèle établi montre que la relation entre le rendement du sorgho et la densité des mauvaises herbes est fortement significative à un niveau de confiance de 95%. Le coefficient de détermination $R^2 = 0,87$ montre que le modèle est expliqué à 87%. Le coefficient de corrélation est égal à -0,93, indiquant une forte relation entre les variables.

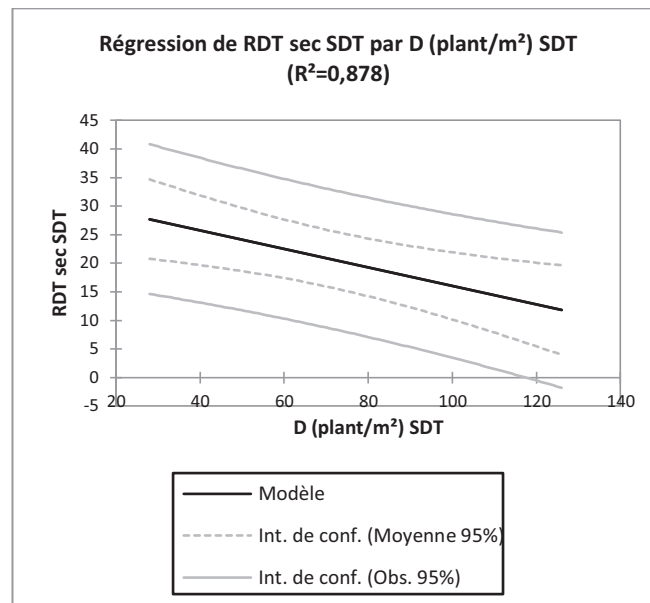


Figure 11.33: courbe de régression entre RDT et Densité des mauvaises herbes

D'après cette analyse de la corrélation, la présence des mauvaises herbes influe fortement le rendement, les mauvaises herbes privent les plantes de l'eau, la lumière et les éléments nutritifs et ce résultat a été obtenu sur les parcelles menées en semis direct, dans ce système la maîtrise des adventices est cruciale car elle peut compromettre en grande partie la production obtenue en fin de campagne.

11.6.5. Relation entre la densité et la biomasse des mauvaises herbes

D'après l'analyse de la corrélation on constate qu'il y a une forte corrélation entre la biomasse des mauvaises herbes comme variable dépendante et la densité des mauvaises herbes comme variable indépendante.

L'analyse par régression linéaire, mettant en relation les deux variables a donné la relation suivante :

$$\text{Biomasse (SDT)} = 287,83 - 1,50 * D \text{ (SDT)} \quad (23)$$

Avec : $R = -0,99$

$$R^2 = 0,98$$

Tenant compte de la valeur de p inférieure à 0,05 dans le tableau d'ANOVA, le modèle établi montre que la relation entre la biomasse des mauvaises herbes et la densité des mauvaises herbes est fortement significative à un niveau de confiance de 95%. Le coefficient de détermination $R^2 = 0,98$ montre que le modèle est expliqué à 98 %. Le coefficient de corrélation est égal à -0,99, indiquant une forte relation entre les variables.

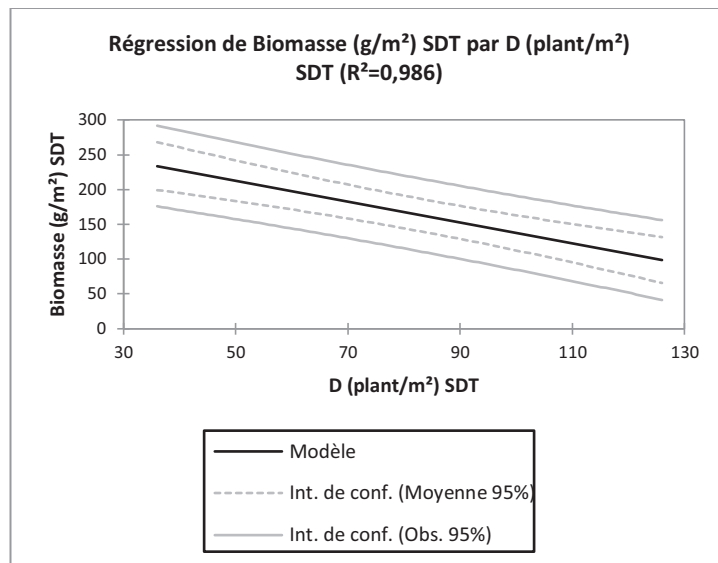


Figure 11.34: courbe régression de biomasse (SD) par D (SD) (R²=0,903)

La densité des mauvaises herbes semble influencer la biomasse, en effet, cela peut s'expliquer par le fait que lorsque la densité des mauvaises herbes augmente ça va créer une compétition rude entre les mauvaises herbes elles-mêmes, ce qui va occasionner un ralentissement de leur croissance et donc un mauvais développement des mauvaises herbes et une biomasse en g/m² beaucoup moins importante.

11.6.6. Effet de l'humidité, de la colonisation par les mauvaises herbes et la croissance de la culture sur le rendement finale

L'analyse de la régression multiple entre la variable dépendante RDT et les variables indépendantes D, H% et le diamètre des tiges a donné les résultats suivants :

En premier lieu, le tableau d'analyse de la variance, qui est un résultat qui doit être analysé attentivement. C'est à ce niveau que l'on teste si l'on peut considérer que les variables explicatives sélectionnées (D), (H%), (diamètre) apportent une quantité d'information significative au modèle ou non. En d'autres termes, c'est un moyen de tester si la moyenne de la variable à modéliser le rendement suffirait à décrire les résultats obtenus ou non. Le test du F de Fisher est utilisé. Étant donné que la probabilité associée au F est dans ce cas inférieure à 0.018, cela signifie que l'on prend un risque de se tromper de moins de 1,8 % en concluant que les variables explicatives apportent une quantité d'information significative au modèle.

En deuxième lieu, on fournit les détails sur le modèle, nous avons obtenu une p-value associé au test de Student pour les trois paramètres :

Source	Pr > t
Constante	0,075
D (densité) (plant/m²)	
SD	0,016
H% SD	0,044
DIAMETRE TIGE	
SD	0,054

Etant donné que p-value est inférieure à 0,05, on peut dire que les trois paramètres (surtout la densité) ont un fort impact sur le rendement.

. L'équation du modèle est la suivante :

$$\text{RDT (SD)} = 14,96 + 0,10 * \text{D (SD)} - 1,26 * \text{H\% (SD)} - 11,70 * \text{Diamètre (SD)}$$

(24)

Avec :

Rdt : rendement

D : densité des mauvaises herbes

H% : l'humidité du sol

Diamètre des plants

Le coefficient de détermination $R^2 = 0,99$, les variables densité des mauvaises herbes, humidité et diamètre des tiges permettent d'expliquer 99% de la variabilité du rendement.

Ces trois variables ont un effet certain sur le rendement dans les parcelles menées en semis direct, pour les parcelles travaillées on n'a pas pu obtenir un modèle explicatif comme celui en semis direct. Cela nous porte à dire que la maîtrise des mauvaises herbes conduit certainement à une obtention d'un bon rendement alors que l'humidité du sol est-elle influencée par une bonne structure du sol permettant une bonne infiltration, donc le choix de la technique culturale mise en place est important pour l'obtention d'un bon rendement.

Conclusion

Donc on pourra conclure que la présence des mauvaises herbes a un effet sur la résistance mécanique du sol, dans les sols non traités R_p est inférieure par rapport au sol traité mais cela ne veut pas dire forcément que les cultures non traitées auront les meilleurs rendements car la concurrence des mauvaises herbes inhibe la croissance des plantes ; pour ce qui est de la technique à choisir, le labour semble être la technique appropriée car elle permet un bon développement racinaire contrairement au semis direct qui doit être accompagné par une grande quantité d'engrais ce qui va nuire à l'environnement.

La concurrence des mauvaises herbes inhibe la croissance des plantes puisque on a eu des diamètres et des hauteurs des tiges meilleurs dans les parcelles traitées. Pour ce qui est du rendement, on a enregistré des pertes de rendement considérables allant jusqu'à 46% que ce soit en travail conventionnel ou en semis direct.

Conclusions générales

Discussion générale des résultats

Les travaux expérimentaux menés pour cette thèse ont enrichi les connaissances scientifiques et techniques sur le fonctionnement, en climat méditerranéen des nouvelles techniques culturales à savoir le semis direct. L'objectif suprême de notre travail était d'établir un constat pour faire ressortir l'effet des techniques culturales sur l'évolution de l'état structural du sol, et conséquences sur le développement racinaire et le rendement. Et d'analyser aussi l'impact de ces techniques sur la prolifération des mauvaises herbes et d'étudier l'efficacité du traitement chimique en semis direct et en travail du sol classique.

Notre 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 semis direct et le travail minimum pour la mise en place d'une céréale blé. La détermination de ces paramètres permet de prévoir le comportement du système racinaire. Nous avons analysé les paramètres physico mécaniques du sol tout au long du cycle de développement de la plante et nous avons suivi le développement des racines ainsi que le rendement pour voir les conséquences de l'effet des techniques culturales sur le sol. Une analyse de l'effet des techniques culturales sur l'infestation en mauvaises herbes a été aussi effectuée.

Nos résultats ont été axés sur deux grandes parties : la première consiste à l'analyse du comportement physico-mécanique du sol sous l'action de trois techniques culturales (travail conventionnel, travail minimum et semis direct), incidence sur le développement racinaire et conséquence sur le rendement du blé dur. La deuxième partie a porté sur l'effet des techniques culturales sur l'infestation en mauvaises herbes

L'examen de l'ensemble des résultats de la première partie, permet de tirer les conclusions suivantes :

En premier lieu, les essais préliminaire ont confirmé une évidence, un bon état structural induit un bon développement racinaire, l'action d'ameublissement du sol par les outils aratoires permet d'obtenir cet état structural du sol. A partir de là, on a tenté d'analyser sur terrain l'effet de la succession des outils aratoires sur l'évolution de l'état structural du sol et on a conclu que :

- Les différents passages des outils aratoires par leurs actions ont un effet sur la teneur en eau dans le sol donc sur la conservation de l'eau dans le sol. Les résultats montrent que le labour permet une augmentation de la teneur en eau au niveau du premier horizon. Nous concluons aussi que l'humidité du sol diminue légèrement après passage du cover-crop et du cultivateur à dent.

- Le degré de porosité augmente fortement après le labour et légèrement après les passages du cover crop et du cultivateur à dents. On peut conclure que le passage des outils aratoires contribue à la création et le maintien d'une forte porosité structurale.
- Les résultats montrent que la résistance pénétrométrique du sol est modifiée par l'outil aratoire utilisé, nous constatons qu'après passage des outils aratoires, la résistance pénétrométrique du sol diminue fortement après labour et remonte légèrement après cover-crop et le cultivateur à dents. Toute fois nous avons pu constater que la teneur en eau a plus d'effet que la porosité sur la résistance pénétrométrique. Et pour mettre en évidence cet effet une quantification de l'effet de l'humidité du sol sur la résistance pénétrométrique a été réalisée. Nous avons tiré conclusion que la résistance pénétrométrique est fortement influencée par la teneur en eau dans le sol, d'où l'importance de choisir correctement le moment d'intervention avec les pièces travaillantes.

Après ces premiers constats, on élargit l'étude en introduisant d'autres chaînes d'outils ainsi que des techniques culturales nouvelles à savoir le semis direct, les paramètres caractérisant l'état structural du sol ont été analysés, et les résultats obtenus montrent que :

- Les résultats de l'humidité du sol sont similaires dans les essais menés sur sol plutôt limoneux, contrairement aux essais réalisés dans des sols argileux, où le semis direct semble avoir une meilleure rétention d'eau par rapport au TC et TM. Autre constat, l'humidité du sol varie en augmentant légèrement en fonction de l'évolution de la culture, la présence des racines est évidemment à prendre en considération. La teneur en eau passe de 12,97 % avant le semis à 16,51 % au stade épiaison pour les parcelles labourées (TC) ; elle passe de 13,83 % à 16,73 % pour les parcelles de la TM et de 14,28 % à 18,27 sur les parcelles du semis direct.
- Le premier constat concernant la porosité, est qu'elle augmente fortement du premier au cinquième stade et contribue pour un bon développement de la plante. Pour ce qui est de l'effet des techniques culturales, en sol limoneux, la porosité est pratiquement similaire pour TC et SD, cependant, pour les sols argileux, Les résultats montrent bien que la porosité obtenue au stade trois feuilles, est fonction de la technique utilisée. La porosité diminue de la technique TC à la technique SD en passant par une moyenne pour la technique TM. La porosité diminue aussi avec la profondeur. Au niveau des parcelles du semis direct nous constatons une homogénéité de la porosité du sol sur

presque tout le profil ; ce qui n'est pas le cas des autres parcelles où la porosité est plus importante en surface.

- La résistance pénétrométrique est plus importante sur les parcelles en semis direct (SD) que sur les parcelles labourées (TC). Toutefois nous avons pu constater que la teneur en eau a plus d'effet que la porosité sur la résistance pénétrométrique. Et pour mettre en évidence cet effet une quantification de l'effet de l'humidité du sol sur la résistance pénétrométrique a été réalisée.

$$R_p (TCNT) = 11,95 + 0,006n - 0,31H$$

$$R_p (SDT) = - 12,74 + 0,19n + 0,94H$$

$$R_p (SDT) = - 0,78 + 0,18 H + 0,17 n$$

$$R_p (SDNT) = 10, 59 - 0, 01*n - 0, 02*H$$

Après l'analyse de ces paramètres physiques du sol, la question était de savoir si ces derniers auront des répercussions sur le développement de la culture du blé dur et de son rendement finale,

Les résultats relatifs au développement des racines montrent nettement que le système racinaire est très développé sur les parcelles labourées (TC) où la densité racinaire est de 1,101 g/dm³, ensuite c'est celui des parcelles travaillées avec le chisel (TM) où cette densité est de 0,805 g / dm³. Au niveau des parcelles du semis direct (SD) nous avons la valeur la plus faible de la densité des racines qui est de 0,638 g / dm³. Nous remarquerons également que les diamètres des racines sont plus importants sur les parcelles travaillées avec la méthode classique la moyenne des diamètres est de 1,38 mm, ensuite les diamètres des racines pour les deux autres techniques sont relativement proches l'un de l'autre, mais toujours dans le même ordre il est de 1,14 mm pour le TM et de 1,10 mm pour le SD.

Les racines se développent donc mieux dans un sol labouré. Dans ces derniers la structure du sol est principalement créée par les opérations de travail du sol tandis que dans les systèmes non travaillés (semis direct) la structure est principalement créée par l'action du climat (en surface dans les régions tempérées) et par des processus biologiques. Cependant, une application à long terme du semis direct peut se manifester par des couches superficielles du sol se réchauffant plus lentement et présentant une plus forte résistance à la pénétration des racines en comparaison avec des sols travaillés conventionnellement. Ceci peut donner lieu à un ensemble de conditions de croissance défavorables 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 racines, grâce auxquelles se fera l'alimentation en eau et en éléments minéraux durant tout le cycle de développement de la plante.

L'analyse de la variance confirme aussi qu'il y a un effet très hautement significatif de la technique culturale sur les paramètres de croissance de la culture à savoir la hauteur et diamètre des tiges avec des **P-value** < **0,0001**. Les résultats confirment aussi que le travail du sol classique favorise la croissance des plantes

Les résultats de nos essais montrent aussi que le PMG du blé dur est meilleur sur les parcelles labourées, il est de 40 grammes, ce qui donne donc une meilleure qualité du blé. Ceci se répercute sur les rendements de la culture. Ce dernier est donc meilleur sur les parcelles labourées, il est de 50,03 quintaux à l'hectare. Sur les autres parcelles (TM) et (SD) les rendements sont respectivement de 35,70 q/ha et 36,19 q/ha. Il est donc meilleur sur les parcelles Semis Direct que sur les parcelles du Travail Minimum. La différence de ces rendements entre la technique conventionnelle et les deux autres techniques est hautement significative, elle est de 14 q / ha.

Ces résultats sont de même ordre que ceux obtenus sur le premier site, ou on a obtenu sur les parcelles labourées un rendement de 51,94 q/ha, alors que sur les parcelles du semis direct, il n'était que de 28,67 q/ha.

L'ensemble des résultats de la deuxième partie relatives à l'analyse de l'effet des techniques culturales sur l'infestation en mauvaises herbes ont conclu qu'il y a un effet très hautement significative entre les deux types de techniques culturales (TC, SD) sur la densité et la biomasse des mauvaises herbes avec des **P-value** < **0,005** pour densité et < **0,001** pour biomasse. Ce qui signifie que la technique choisie à un effet important sur l'éradication des mauvaises herbes, on a pu conclure que le labour est une opération de travail du sol qui a un impact très positif sur la flore adventice présente.

Quant à l'efficacité du traitement chimique sur l'éradication des mauvaises herbes, il semble que non seulement le traitement à l'herbicide à une action notable sur l'élimination des mauvaises herbes, mais aussi sur la modification indirecte de l'état structural du sol, en effet, les résultats obtenus montrent que la présence des mauvaises herbes a un effet sur la résistance pénétrométrique du sol ; d'après l'étude faite sur l'analyse de la variation de la résistance mécanique du sol en relation avec le stade végétatif et la profondeur, on a déduit que les parcelles non traitées, présente une faible résistance à la pénétration du cône, par rapport à celles traitées, cela est peut être due d'un côté à la présence des mauvaises herbes qui enrichie le sol en racines, ceci entraîne un maintien d'une certaine humidité du sol qui réduit la résistance pénétrométrique. Et d'un autre côté, la couverture végétale créée par les mauvaises herbes, réduit l'évaporation du sol.

Le rendement est lui aussi influencé par la lutte chimique contre les mauvaises herbes, des pertes de rendement atteignant 90 % en travail classique et en semis direct. L'analyse de la variance fait

ressortir un effet hautement significatif du traitement à l'herbicide sur le rendement avec **P-value < 0,04 et 0,02**.

Enfin en conclusion, et d'après l'analyse de la corrélation on constate qu'il y a une forte corrélation entre :

$$\mathbf{H\% \text{ TC} = 14,18 - 0,027 * D \text{ (TC)}} \quad \text{Avec : } \mathbf{R = - 0,99} \quad \mathbf{R^2 = 0,}$$

$$\mathbf{Hauteur tige \text{ (SD)} = 33,43 + 5,75 * H\% \text{ (SD)}} \quad \text{Avec : } \mathbf{R = 0,95} \quad \mathbf{R^2 = 0,90}$$

$$\mathbf{Rdt \text{ (SDT)} = 32,27 - 0,16 * D \text{ (SDT)}} \quad \text{Avec : } \mathbf{R = - 0,93} \quad \mathbf{R^2 = 0,87}$$

$$\mathbf{Biomasse \text{ (SDT)} = 287,83 - 1,50 * D \text{ (SDT)}} \quad \text{Avec : } \mathbf{R = - 0,99} \quad \mathbf{R^2 = 0,98}$$

L'analyse de la régression multiple entre la variable dépendante RDT et les variables indépendantes D.m.h, H% et le diamètre des tiges a donné l'équation du modèle suivante :

$$\mathbf{Rdt \text{ (SD)} = 14,96 + 0,10 * D \text{ (SD)} - 1,26 * H\% \text{ (SD)} - 11,70 * \text{Diamètre} \text{ (SD)}}$$

Le coefficient de détermination $\mathbf{R^2 = 0,99}$, les variables densité des mauvaises herbes, humidité et diamètre des tiges permettent d'expliquer 99% de la variabilité du rendement. Ces trois variables ont un effet certain sur le rendement dans les parcelles menées en semis direct, pour les parcelles travaillées on n'a pas pu obtenir un modèle explicatif comme celui en semis direct. Cela nous porte à dire que la maîtrise des mauvaises herbes conduit certainement à une obtention d'un bon rendement.

Donc tous ces résultats présentés ont pu répondre aux problématiques posées initialement.

Conclusion générale

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, 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.

Une étude économique est nécessaire pour se prononcer sur la technique à pratiquer pour un blé dur. Cependant dans les conditions de nos essais, nous préconisons la méthode conventionnelle avec labour, mais avec un sous solage tous les quatre ans pour détruire la semelle de labour. La pratique de cette méthode permettra entre autre d'éviter une pollution des nappes d'eau souterraines et même du sol. Comme le semis direct exige un traitement avec herbicide pour la destruction chimique des mauvaises herbes, une analyse à caractère environnemental est plus que nécessaire, notamment sur les zones aquifères.

Les limites de notre étude

Quelle crédibilité, quelle portée et quels impacts les résultats présentés dans ce mémoire ont-ils pour la recherche agronomique et pour l'agriculture algérienne en climat tempérés ? En fait, les limites de ce travail proviennent d'une part de l'objet d'étude et d'autre part des moyens de réalisation ; de ces limites dépendent le domaine de validité des résultats. Les semoirs de semis direct de haute technologies n'existent ni dans la station expérimentale ni dans les organismes spécialisés, ce qui a constitué une véritable difficulté pour la réalisation de ce travail, on s'est contenté d'un ancien semoir de semis direct.

Aussi parmi les limites, il aurait été préférable d'avoir une parcelle plus importante et d'introduire d'autres cultures tels que l'orge et le maïs et réaliser un dispositif expérimental meilleur et plus intéressant du point de vue données.

Une autre limite qu'on peut attribuer à notre travail est que l'étude a été menée sur le court terme, ce qui diminue de la pertinence des résultats vu qu'en semis direct il faut laisser le sol au moins cinq ans sans intervention mécanique pour voir ses avantages. Une étude sur vingt ans par exemple aurait été plus sérieuse. Enfin, une évaluation du stock semencier des mauvaises herbes aurait valorisé plus nos résultats.

Perspectives

Quoi qu'il en soit, au-delà des apports scientifiques apportés par ce modeste travail dont la pertinence sera discutée par les membres du jury, ce travail a peut-être traité les problèmes pédologiques liés à l'introduction des techniques culturales simplifiées en Algérie et le problème de la maîtrise des mauvaises herbes dans les nouveaux systèmes culturaux, première étape nécessaire pour des recherches futures dans ce domaine. Il a aussi peut-être permis comme références techniques sur ces systèmes en climat tempéré méditerranéen pour des sols limoneux, argileux limoneux et argileux. Aucune réponse ne peut être formulée actuellement, en climat tempéré, même après les travaux rapportés dans ce document, il est donc prématuré de se prononcer définitivement sur l'opportunité et l'incidence de tel ou tel autre technique sur l'amélioration des propriétés des sols et des rendements des cultures.

Malgré les innovations techniques qui ont permis la réduction des coûts de production tout en augmentant le rendement, la réalisation d'études comparatives sur les différentes techniques culturales pour en choisir la plus rentable et la mieux adaptée aux caractéristiques pédoclimatiques demeure plus que nécessaire. Une approche intégrée du problème est nécessaire, elle passe par l'établissement de modèles opérationnels permettant de prévoir l'effet à moyen et à long terme des systèmes simplifiés, de tester diverses stratégies de lutte (en particulier les alternances labour/travail superficielle) et d'apprécier la durée de vie des systèmes de travail du sol simplifiés. La réponse ne peut être simple, au vu des expériences précédentes. L'alternance des cultures, des herbicides et des modes de préparation du sol semble être une voie de maîtrise de la flore adventice plus satisfaisante à moyen terme.

En fait, il faut refaire ces travaux et les accompagner par une évaluation du stock semencier des mauvaises herbes et de voir l'effet du semis direct et du travail du sol classique sur ce dernier. Ajoutons à cela, une étude des effets environnementales des herbicides que ce soit sur les sols, l'eau superficiel ou sur la nappe est nécessaire.

Aussi, dans le cadre de la maîtrise des mauvaises herbes, la recherche pourrait s'intéresser au pouvoir d'étouffement des plantes sur les adventices ou à la capacité de ces plantes à puiser les nitrates excédentaires du cycle cultural précédent. Il serait aussi particulièrement enrichissant de mettre en place une expérimentation longue durée ou de poursuivre celle mise en place pour ce mémoire pour apprécier les effets à long terme.

Concernant l'Algérie, l'introduction des techniques simplifiées serait favorable au niveau des régions sahariennes caractérisées par des sols sableux à texture très fragile, mais la maîtrise de la fertilisation et de la lutte chimique contre les mauvaises herbes est à prendre avec beaucoup de sérieux.

Enfin, nous recommandons qu'il serait intéressant 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 ses aspects (techniques, fondamentaux, économiques, environnementaux...).

Publications sur le sujet :

Mohamed Amine FEDDAL; Mahfoud AMARA; Adel HAMANI. 2015 - Behavior of the ground under the action of three techniques of installation of a durum wheat analyzes (*Triticum durum*). Effect on the development of the roots and effects on the output. Wulfenia journal. Vol 22, No. 3;Mar 2015.

M. A. FEDDAL M. AMARA, (2014), - Effet des techniques culturales simplifiées sur la conservation de l'eau et risque de pollution. Arabian Journal of Earth Sciences. Proceeding : Mars 2014.

M. AMARA, M. A. FEDDAL (2013) - A Force Prediction Model for the Plough Introducing its Geometrical Characteristics and its Comparison with Gorjachkin and Gee Clough Models. International Journal of Engineering Research & Technology. Vol.2 - Issue 11 (November - 2013).

M. AMARA, I. GUEDIOURA AND M. A. FEDDAL (2013) - Experimental model to estimate draught force for mouldboard ploughs; incorporating effects of plough geometric parameters. International Journal of Advance Agricultural Research Vol. 1(3), pp. 27-36, May 2013.

Séminaires et conférences

« *Les Systèmes d'Informations de l'Eau dans la Région Méditerranéenne* », organisées par L'Association Marocaine des Jeunes Géomaticiens (AMJG) en partenariat avec la [Faculté des Sciences de Rabat](#) et l'[Université Mohammed V Agdal](#) le 20 & 21 Mars 2014.

Titre de la communication : effet des techniques culturales simplifiées sur la conservation de l'eau et risque de pollution.

« *Conférence internationale sur l'hydrologie des grands bassins fluviaux de l'Afrique Hammamet - Tunisie de 26-30 octobre 2015* », organisé par INGREF et l'IRD du 26 au 30 octobre 2015.

Titre de la communication: analysis of effect of simplified cultivation techniques on the water conservation and risk of pollution.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- **Abib F et Haddab H., 1995** - Cartographie des sols de la ferme expérimentale de l'Institut National Agronomique-Alger. Mém. ing. Agr .INA. El-Harrach. Alger. 91 p. annexes.
- **Afzalinia et Zabihi, 2014** - Geoderma. Volumes 237–238, January 2014, Pages 60–70
- **Agu S. et al., 2000**, Agriculture et effet de serre : adaptation des pratiques agricoles - alternatives énergétiques, rapport de DA environnement, ESAA.
- **Almaric N., Roubinet E., Brezillon M., Schroeder M., Faiq et Tite A., 2008** - La vulgarisation de l'agro-écologie : de la théorie au terrain. Projet INP-ENSAT/Solagro.
- **Amara M., 1983** - influence des principaux paramètres constructifs de deux corps de charrue à versoir universel et cylindrique et la vitesse de travail sur les indices qualitatifs du labour. Thèse. mag. agr. ENSA. El-Harrach. Alger. Annexes.
- **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. Doctorat. agr. ENSA. El harrach. Alger. Annexes.
- **Andersen, A. 1999**. Plant protection in spring cereal production with reduced tillage. II. Pests and beneficial insects. *Crop Protection*, **18**, 651-657.
- **Andre M et Marc S., 1991** - Physique du sol. Ed. Collection META. Lausanne, 1991, 335p.
- **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., Weiskopf, 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.
- **APAD, 2001**, TCS : l'agriculture sera durable ou elle ne sera pas, APAD, Paris, 6p.
- **Arnon I., 1972** - Crop Production in Dry Regions. Vol. I. ed. Leonard Hill. London. 650 p.

- **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.
- **Attah K. Boame, 2005.** Le semis direct : une pratique verte dans les fermes canadiennes. Novembre 2005. Regards sur l'industrie agro-alimentaire et la communauté agricole. N° 21-004-XIF au catalogue.
- **Azooz, R. H. & Arshad, M. A. 1996.** Soil infiltration and hydraulic conductivity under long term no-tillage and conventional tillage systems. *Canadian Journal of Soil Science*, **76**, 143-152.
- **Bakel M., 1999 -** étude comparative de l'action des outils aratoires sur l'état structural d'un sol travaillé en vue de la mise en place de la culture du Sorgho fourrager. Thèse. mag. ENSA. El harrach.alger.65p.
- **Baker J.M., Ochsner T.E., Venterea R.T. et Griffis T.J. 2007 -** Tillage and soil carbon sequestration--What do we really know? *Agriculture, Ecosystems & Environment* 118:1-5.
- **Balesdent, J., Chenu, C et Balabane, M., 2000.** - Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil and Tillage Research* 53:215- 230.
- **Barthélémy P., Boisgontier D et Lajoux P., 1987 -** Choisir les outils de travail du sol. Ed ITCF.france. 1987.
- **Basic, F., Kistic, I., Mesic, M., Nestroy, O. & Butorac, A. 2004.** Tillage and crop
- **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.
- **Benites J.R et Ofori C.S., 1993 -** Crop production through conservation-effective tillage in the tropics. *Soil & Tillage Research* 27: 9-33.
- **Benites J.R et Ofori C.S., 1993 -** Crop production through conservation-effective tillage in the tropics. *Soil & Tillage Research* 27: 9-33.
- **Bennie A.T. P., 1991 -** Growth and mechanical impedance. p.393-414 dans Y.Waisel, A Eshel et U. Kafkafi, ed. *Plant Roots The Hidden Half*
- **Benyassine A, 1991 -** Caractéristiques des exploitations agricoles et adaptations du système LEY- FARMING. In : ley – farming, M. Amine ed, ACTES ed. pp : 9 – 28.

- **Benzohra.K. 1996** - "Influence de six chaînes d'outils aratoires sur quelques indices qualitatifs du sol et sur la croissance et le développement de deux variétés de blé dur, Waha et Mexicali" Thèse magister, INA, Alger, 151p.
- **Bernoux, M., Cerri, C. C., Cerri, C. E. P., Neto, M. S., Metay, A., Perrin, A. S., Scopel, E., Razafimbelo, T., Blavet, D., Piccolo, M. D., Pavei, M. & Milne, E. 2006.** Cropping systems, carbon sequestration and erosion in Brazil, a review. *Agronomy for Sustainable Development*, **26**, 1-8
- **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.
- **Billot J-F., 1982** - Les applications agronomiques de la pénétrométrie à l'étude de la structure des sols travaillés. *Scie. Sol*, 202p.
- **Blanco-Canqui H et Lal E., 2007** - Soil structure and organic carbon relationships following 10 years of wheat straw management in no-till. *Soil and Tillage Research* 95:240-254.
- **Blanco-Canqui, H., Gantzer, C. J., Anderson, S. H. & Alberts, E. E. 2004.** Tillage and crop influences on physical properties for an Epiaqualf. *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.
- **Boizard H., Richard G., Defosse P., Roger-Estrade J et Boiffin J., 2004** - Etude de l'effet à moyen et long terme des systèmes de culture sur la structure d'un sol limoneux-argileux du Nord du Bassin Parisien: les enseignements de l'essai de longue durée d'Estrée-Mons (80). *Etude et Gestion des Sols* 11:11-20.
- **Boulal.H., Zaghouane 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.
- **Bouzzara, M.E.H. Ould Ferroukh et A. Bouguendouz., 2010** - Influence du semis direct et des techniques culturales simplifiées sur les propriétés d'un sol de la ferme pilote Sersour (Sétif). *Options Méditerranéennes*, A no. 96, 2010 – IV Rencontres Méditerranéennes du Semis Direct.

- **Bradford JM., 1982** - Penetrability. p.463-478 dans A.Klute, ed. Methods of soil analysis. Part 1: physical and mineralogical methods of soil analysis. Second edition. ASA, SSSC Madison, Wisconsin.
- **Breune I., 1997** - Le pénétromètre : un outil de détermination de la qualité structurale des sols. thèse. Doctorat. Faculté des études supérieures de l'université Laval. Laval. Canada. 88p. Annexes.
- **Callot and all., 1988** - Mieux comprendre les interactions sol - racines. Ed. INRA France, 325p.
- **Canarache A., 1990** - Peneterometric generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. Soil tillage Res, P. 51-70.
- **Capillon, A. & Séguy, L. 2002.** Ecosystèmes cultivés et stockage du carbone. Cas des systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale. Comptes - rendus de l'Académie d'Agriculture Française, **88**, 63-70.
- **Carter, M. R. & Rennie, D. A. 1987.** Effects of tillage on deposit in and utilization of 15N residual fertilizer. Soil & Tillage Research, **9**, 33-43.
- **Cassel D.K. et Nelson L.A., 1985** - Spatial and temporal variability of soil physical properties of Norfolk loamy sand as affected by tillage. Soil tillage Res.
- **CCE, 2002,** Vers une stratégie thématique pour la protection des sols, Bruxelles, 41p.
- **Cedra C., 1993** - Les matériels de travail du sol, semis et plantation. Ed. CEMAGREF DICOVA Antony. FRANCE. 384 P.
- **Chen Y, Cavers , Tessier S, Monero F, et Lobb D. 2004** - Short-term tillage effects on soil cone index and plant development in a poorly drained, heavy clay soil. Science direct. Soil & Tillage Research **82** (2005) 161–171.
- **Chopart J.L., 2001** - Système racinaire des cultures annuelles tropicales : effet du travail du sol sur les racines.
- **Clement.M. Grandcourt et J.Prats. 1971** - "les céréales". Edit.J.Bailliere et fils. 351 p.
- **Coquet, Y., Vachier, P. & Labat, C. 2005.** Vertical variation of near-saturated hydraulic conductivity in three soil profiles. Geoderma, **126**, 181-191.
- **Couvreur.F. 1981** - "La culture du blé se raisonne", Cultivar. Juin 1981, ITCF. pp, 39-41.
- **Dahai Guan et al en 2014** – Soil and Tillage Research. Volume 146, Part B, March 2014, Pages 286–295.

- **Dalleine E. 1971** - ‘‘Techniques agricoles’’, fascicule n°504, CNEEMA, le chisel et le cultivateur n°163, pp 163-168.
- **Dalleine E., 1979** - Les tassements des sols argileux. Bulletin numéro 253. CNNEMA. France.
- **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
- **Degoutte G and Royet P 2007** - Aide-mémoire de mécanique des sols. Ed. CEMAGREF. France.2007.
- **Dejou J., 1984** - La compacité des sols et ses conséquences agronomiques. B.T.I n° 386.
- **Demissy A., Farque P., 1997** - Diagnostic d'état physique du sol et fonctionnement de la plante. *In* Nouveau outils de diagnostic pour une meilleure gestion de l'eau et de l'azote en parcelles cultivées. Séminaire DAA Agro-Environnement. Remy et Wery Eds.
- **Derpsch, R. 2001.** Conservation tillage, no-tillage and related technologies, In García-Torres, L., Benites, J., Martínez-Vilela, A. (eds.), *Proceedings of the first World Congress on Conservation Agriculture*, Madrid (Spain), pp. 161-170.
- **Deumier JM., Lacroix B., Bouthier A., Verdier JL., Mangin M., 1980-** Stratégies de conduite de l'irrigation du maïs et du sorgho dans les situations de ressource en eau
- **Dexter, A. R. 1997.** Physical properties of tilled soils. *Soil & Tillage Research*, **43**, 41-63.
- **D'Haene K., Vandenbruwane J., De Neve S., Gabriels D., Salomez J., et G.Hofman. 2008** - The effect of reduced tillage on nitrogen dynamics in silt loam soils. *European Journal of Agronomy* 28:449-460.

- **Dielh R., 1975** - Agronomie générale. Ed. Bailliere, paris, 396 p.
- **Doran, J. W. 1980.** Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. Soil Science Society of America Journal, **44**, 765-771.
- **Duthil J, 1973** - Éléments d'écologie et d'agronomie. Coll.ing. Tech agri, 256 p.
- **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.
- **Ehlers, W., Kopke, U., Hesse, F. & Bohm, W. 1983.** Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. Soil & Tillage Research, **3**, 261-275.
- **El brahli A et Bouazza A., 1996** - Lutte contre les mauvaises herbes dans les systèmes de rotation. Rapport d'activité annuel 1995/96. Ed. INRA – CRRA Settat. PP : 156 – 160.
- **El mourid M., Karrou M et Ait Kadi ; 1993** - Maitrise de l'eau. II. Gestion de la contrainte hydrique en agriculture pluviale au Maroc. In : journées sur la recherche dans le développement agricole et rural. MARA royaume du Maroc. Rabat, 8-9 juin 1993, pp : 1 – 15.
- **El Titi, A. 2003.** Effects of tillage on invertebrates in soil ecosystems. In El Titi, A. (ed.), Soil tillage in agroecosystems, CRC Press, New-York (USA), pp. 261-296.
- **FAO, 2001** - Soil carbon sequestration for improved land management, FAO World Soil Resources Reports n°96, 60p.
- **Faure A., 1978** - Influence de la phase argileuse sur la susceptibilité au tassement des sols. Bulletin AFES n° 2 CNRA (AVIGNON).
- **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.
- **Fiès J.C., 1971** - Recherche d'une interprétation texturale de la porosité des sols. Annales Agronomiques 22(6), pp.655-685.
- **Fies J.C., Stengel P., 1981-** Densité texturale de sols naturels II. - Eléments d'interprétation. Agronomie 1 pp. 659-666.
- **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.
- **Follett, R. F. & Peterson, G. A. 1988.** Surface soil nutrient distribution as affected by wheat fallow tillage systems. Soil Science Society of America Journal, **52**, 141-147.

- **Franzluebbers A.J., Hons F.M., ET Zuberer D A. 1995** - Tillage and crop effects on seasonal dynamics of soil CO₂ evolution, water content, temperature, and bulk density. *Applied Soil Ecology* 2:95-109.
- **Frede H G., 1987** - The importance of pore volume and pore geometry to soil aeration. In « soil compaction and regeneration ». Ed. Monnier, G. Gosse, M.G. Rotterdam. Boston, p. 25-29.
- **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.
- **Fritton D D., 1990** - A standard for interpreting soil penetrometer measurements. *Soil scie*, 150 (2): p.542-551.
- **Fuentes, J. P., Flury, M. & Bezdicsek, 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.
- **Gardner and al, 1999** - Soil physical constraints to plant growth and crop production. Land and water division. F.A.O, 106 p.
- **Georges E.T, 2005** - La compaction des sols : Les causes et les solutions. CCA
- Gerard and al, 1982. Physical factors influencing soil strength and root growth. *Agron. J.* 74, p. 875–879.
- **Germon J.C., Taureau J.C., et 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, p. 125-154, In G. Monnier, et al., eds. Simplification du travail du sol, INRA (Les Colloques n°65) ed, Pa ris, 16 mai 1991.
- **Gilet A. 2001** - Le non labour impose de creuser la technique, *La France Agricole*, pp 47 - 51.
- **Girardin P., 1993** - Agriculture intégrée : au-delà des mythes... un défi, *Cahiers Agricultures* vol 2 n°2, pp141-145.
- **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.
- **Granes D. et Caron H., 1993** - Agriculture spéciale CERDI, ENCR/Bambey-Sénégal.

- **Grant, C. A. & Lafond, G. P. 1993.** The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clay soil in southern Saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Science*, **73**, 223-232.
- **Guedez P.-Y., 2001,** Environmental aspects of Conservation Agriculture in Europe, I World Congress on Conservation Agriculture, Madrid, 6p.
- **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, p. 13-33, In G. Monnier, et al, eds. Simplification du travail du sol, INRA (Les Colloques N° 65) ed, Paris, 16 mai 1991.
- Hakansson and Voorhees, 1998. Soil compaction. In: Lal, R., Blum, W.H., Valentine, C., Stewart, B.A. (Eds.), *Methods for Assessment of Soil Degradation*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 167–179.
- **Haldore. H, NE.Borlaug and R.Glenn A. 1982.** “Wheat in the third world “Ed. CIMMYT, Mexico. 174 p.
- **Hammel, J. E. 1989.** Long-term tillage and crop rotation effects on bulk density and soil impedance in Northern Idaho. *Soil Science Society of America Journal*, **53**, 1515-1519.
- **Hamza M.A. And Anderson W.K. (2005)** - Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research* , **82 (2)**, p. 121-145.
- **Haytham M. Salem et al, 2014** - *Soil and Tillage Research*. Volume 140, July 2014, Pages 55–65
- **Heard, J. R., Kladvko, E. J. & Mannering, J. V. 1988.** Soil macroporosity, hydraulic conductivity and air permeability of silty soils under long-term conservation tillage in Indiana. *Soil & Tillage Research*, **11**, 1-18.
- **Hénin S., 1969** - *Le profil cultural : l'état physique du sol et ses conséquences agronomiques*. Deuxième édition. Masson, Paris, 332 p.
- **Hernández, J. L., Lopez, R., Navarrete, L. & Sánchez-Giron, V. 2002.** Long-term effects of tillage systems and rotations on soil structural stability and organic carbon stratification in semiarid central Spain. *Soil & Tillage Research*, **66**, 129-141.
- **Hilfiker R., Lowery, B., et Daniel T., 1984** - Soil penetrometer resistance and bulk density characteristics utilizing four tillage systems. *ASAE Papers n°84 2028*.

- **Hillel D., 1980** - *Stress-strain relations and soil strength*. p.318-354 dans Fundamentals of soil physic, Academic Press Inc., University of Massachusetts
- **Hillel D., 1980** - *Stress-strain relations and soil strength*. p.318-354 dans Fundamentals of soil physic, Academic Press Inc., University of Massachusetts
- **Hoogmoed W.B. et Vlaar J.C.J., 1992** - Travail du sol. In: Les techniques de conservation des eaux et des sols dans les pays du Sahel. J.C.J. ed. Vlaar, CIEH, Burkina Faso et Université Agronomique, Wageningen, Pays Bas. pp. 27-43.
- **Hoogmoed W.B., 1986** - Analysis of rainfall characteristics relating to soil management from some selected locations in Niger and India. Soil tillage subprogramme. Tillage laboratory, Agricultural University Wageningen and Resources Management Program. ICRISAT Sahelian Center Report 86-3.
- **Husson J., 1997** - La suppression du labour : Conséquences sur les exploitations céréalières de l'Oise, Mémoire de fin d'étude ISAB, 95 p + annexes.
- **Huwe B. 2003** - The role of soil tillage for soil structure, p. 27-50, In A. El Titi, ed. Soil Tillage in Agroecosystems. CRC Press LLC, Boca Raton.
- **Jauzein PH., 1986**. Échelonnement et périodicité des levées de mauvaises herbes. Dans : Perspective Agricole, 85, pp. 156-165.
- **Jordan, D., Stecker, J. A., CacnioHubbard, V. N., Li, F., Gantzer, C. J. & Brown, J. R. 1997**. Earthworm activity in no-tillage and conventional tillage systems in Missouri soils: a preliminary study. Soil Biology & Biochemistry, **29**, 489-491.
- **Kandeler, E et E. Murer. 1993** - Aggregate stability and soil microbial processes in a soil with different cultivation. Geoderma 56:503-513.
- **Kay B.D., et Vanden Bygaart A.J., 2002** - Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. Soil and Tillage Research 66:107-118.
- **Kayombo B et Lal R., 1993** - Tillage systems and soil compaction in Africa. Soil & Tillage Research 27: 35-72.
- **Kelkouli M., 2008** - Etude de l'effet de 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. Thèse. Mag. Agr. ENSA. El harrach. Alger. Annexes.

- **Kheyar M.O, 1986** - Contribution à l'étude comparative tracteur à roues, tracteur à chenilles : influence sur le tassement du sol. Thèse de magister d'état en sciences agronomiques. Institut national agronomique. El harrach. Alger.
- **Kladivko, E. J. 2001.** Tillage systems and soil ecology. *Soil & Tillage Research*, **61**, 61-76.
- **Klaij M.C., 1983** - Analysis and Evaluation of Tillage on an Alfisol in a Semi-arid Tropical Region of India. PhD thesis, Tillage Laboratory, Wageningen Agricultural University. 148 p.
- **Köller K. 2003** - Techniques of Soil Tillage, p. 1-25, In A. El Titi, ed. *Soil Tillage in Agro ecosystems*. CRC Press LLC, Boca Raton.
- **Kouassi K.B, 1977** - Phénomène de tassement du sol sous l'action des engins agricoles. CNEEA, BI 237,1977.
- **Labreuche J., Roger-Estrade J., Feix I., et al., 2008** - Les techniques culturales sans labour. *Perspectives Agricoles*. 342, 38-43.
- **Lal R., 1983** - No-till farming: soil and water conservation and management in the humid and subhumid tropics. *IITA Monograph 2*, Ibadan, Nigeria. 64 p.
- **Lal R., 1985** - A soil suitability guide for different tillage systems in the tropics. *Soil Tillage Research* **5**: 179-196.
- **Lampurlanés, J. & Cantero-Martínez, C. 2003.** Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop management systems and their relationship with barley root growth. *Agronomy Journal*, **95**, 526-536.
- **Laurent F., Eschenbrenner G., 1995** - Dynamique de l'azote : L'effet des résidus de culture et du travail du sol. *Perspectives agricoles, numéro spécial "Azote et Interculture"* 206, p.20-29.
- **Lin, H. S., McInnes, K. J., Wilding, L. P. & Hallmark, C. T. 1999.** Effects of soil morphology on hydraulic properties: I. Quantification of soil morphology. *Soil Science Society of America Journal*, **63**, 948-954.
- **Liu X.J., Mosier A.R., Halvorson A.D., Reule C.A., et F.S. Zhang., 2007** - Dinitrogen and N₂O emissions in arable soils: Effect of tillage, N source and soil moisture. *Soil Biology and Biochemistry* **39**:2362-2370.
- **Logsdon, S. D., McCoy, E. L., Allmaras, R. R. & Linden, D. R. 1993.** Macropore characterization by indirect methods. *Soil Science*, **155**, 316-324.

- **Magleby, R. 2002.** Soil management and conservation. In Heimlich, R. (ed.), Agricultural resources and environmental indicators, USDA, Washington (USA), pp. 1-54.
- **Magnan J.P. 1991** - Résistance au cisaillement. Techniques de l'ingénieur. Mécanique des sols. C216.
- **Marschner H., 1986** - Mineral nutrition of higher plants. Academic press, London, England, 674p.
- **Martens C., 1964** - influence des propriétés physiques du sol sur le développement racinaire et conséquences sur l'alimentation hydrique et azotée des cultures. Science n° 2.
- **Masutti, C. 2004.** Le Dust Bowl, la politique de conservation des ressources et les écologues aux Etats-Unis dans les années 1930, Thèse de Doctorat, ULP, Strasbourg (France).
- **Mazhar M., 1986** - Rotations des cultures. In : journée de recyclage des vulgarisateurs en techniques de productions des céréales en zones semis aride. INRA/MIAC/USAID ed., CRRRA Settlat, Maroc. Pp : 19 – 24.
- **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.
- **McGonigle, T. P., Miller, M. H. & Young, D. 1999.** Mycorrhizae, crop growth, and crop phosphorus nutrition in maize-soybean rotations given various tillage treatments. Plant and Soil, **210**, 33-42.
- **Mermoud A 2006** – cours de physique du sol. DOC.POLYCYC.EPFL., Lausanne, Suisse, 29p.
- **Mettauer H Et Hinsinger P., 1989** - De l'application de la perméabilité a l'air d'un sol en agronomie. II- intérêt de la perméabilité a l'air pour la caractérisation de la structure du sol et des modalités d'enracinement, p 9, 143-150.
- **Meynard J.M. et al. 1981** - Elaboration du rendement et fertilisation azotée du blé d'hiver en Champagne crayeuse. II-Types de réponse à la fumure azotée et application de la méthode du bilan prévisionnel. Agronomie, 1 (9), p.795-806.

- **Miller, J. J., Sweetland, N. J., Larney, F. J. & Volkmar, K. M. 1998.** Unsaturated hydraulic conductivity of conventional and conservation tillage soils in southern Alberta. *Canadian Journal of Soil Science*, **78**, 643-648.
- **Mokhtari S 2007** - Contribution à l'étude du Tassement des sols agricoles par les tracteurs. mem. Ing.agr. ENSA. El Harrach. Alger. 90p. annexes.
- **Monnier G. et Stengel P., 1982** - Structure et état physique du sol, Techniques Agricoles, Fascicule 1140. Avignon- INRA.
- **Montegut J., 1975.** écologie de la germination des mauvaises herbes. Dans : La germination de semences. Paris : Ed. Gauthier-Villard, pp.191-218.
- **Motavalli P. P. , Anderson S. H., Pengthamkeerati P. And Gantzer C. J. (2003)** - Use of soil cone penetrometers to detect the effects of compaction and organic amendments in claypan soils. *Soil and Tillage Research* , Volume 74, (2), p. 103-114
- **Mrabet R., EL Brahli A., 2001** - Valorisation de la jachère a travers le non labour et la couverture du sol en milieu aride et semis aride.in le semis direct en méditerranée. INRA – FERT ed., Settat-Maroc.21p.
- **Munawar, A., Blevins, R. L., Frye, W. W. & Saul, M. R. 1990.** Tillage and cover crop management for soil water conservation. *Agronomy Journal*, **82**, 773-777.
- **Munkholm L.J., Schjonning P., Rasmussen K.J., et K Tanderup., 2003** - Spatial and temporal effects of direct drilling on soil structure in the seedling environment. *Soil and Tillage Research* 71:163-173.
- **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.
- **Mutin G., 1977** - La Mitidja : décolonisation des espaces géographiques. Alger, OPU, 602 p.
- **Nicou R et Thirouin H, 1967** - Mesure sur la porosité et l'enracinement - premiers résultats. IRAT. SENEGAL. Doc, p. 52.
- **Nicou R., Charreau C. and Chopart J.L. 1993** - Tillage and soil physical properties in semi-arid West Africa. *Soil and Tillage Research* 27: 125-147.
- **Nolot J.M., 1983** - Conduite de la culture du blé d'après les résultats de l'expérimentation Sud-Ouest de 1976 à 1981. ITFC, 15 p.

- **O'Sullivan M. F., Dickson J.W. ET Campbell. D J., 1987** - Interpretation and presentation of cone resistance e data in tillage and traffic studies. *J. Soil Sci.* 38: 137-148.
- **Oorts K., Laurent F., Mary B., Thiebeau P., Labreuche J., et B. Nicolardot., 2007** - Experimental and simulated soil mineral N dynamics for long-term tillage systems in northern France. *Soil and Tillage Research* 94:441-456.
- **Oorts K. 2006** - Effect of tillage system on soil organic matter stocks and C and N fluxes in cereal cropping systems on a silt loam soil in Northern France, PhD thesis, Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris.
- **Pachepsky, Y. A. & Rawls, W. J. 2003.** Soil structure and pedotransfer functions. *European Journal of Soil Science*, **54**, 443-451.
- **Pekrun C., Kaul H.P., et W. Claupein., 2003** - Soil tillage for sustainable nutrient management, p. 83-113, *In* A. El Titi, ed. *Soil Tillage in Agroecosystems*. CRC Press LLC, Boca Raton.
- **Perumpral J.V., Grisso R.D And Dessai C.S., 1983.** A soil-tool model based on limit equilibrium analysis. *Transactions A.S.A.E*, 995p.
- **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.
- **Rahali A., Makhoul M., Benkherbache N. 2011.** Influence de l'itinéraire technique sur le stock semencier de mauvaises herbes de la zone semi- aride de Sétif. In Bouzerzour H. (ed.) , Irekti H. (ed.) , Vadon B. (ed.). *Rencontres Méditerranéennes du Semis Direct*. Zaragoza : CIHEAM / ATU-PAM / INRAA / ITGC / FERT. pages 153- 162.
- **Rasmussen, K.J. 1999** - Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: a Scandinavian review. *Soil & Tillage Research* 53:3-14.
- **Recous S., Darwis D., Robin D., Machet J.M., 1993** - Décomposition des résidus de récolte. Interactions avec la dynamique de l'azote. in "Matières organiques et agricultures" Decroux J. et Ignazi J.C. éditeurs, COMIFER-GEMAS, p.3-15.
- **Rhoton, F.E., Shipitalo, M.J. and 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 & Tillage Research*, 66: 1:11.

- **Richard G., Estrade J.R., J.P Bordes., 2001** - Dossier réalisé à l'occasion d'une conférence-débat organisée par l'INRA en collaboration avec l'ITCF. Salon International du Machinisme Agricole. 21 février 2001.
- **Richard S G., GROSS Katherine L., and ROBERTSON Philip G., 2008** - Effects of Crop Diversity on Agroecosystem Function: Crop Yield Response, Ecosystems. 2008.
- **Rieu C., 2001**, Les enjeux économiques de la simplification du travail du sol, Du labour au semis direct : enjeux Agronomiques, Conférence-débat INRA –ITCF, Salon International du Machinisme Agricole, pp 21-22.
- **Roger-Estrade J., Richard G., Boizard H., Defossez P., Manichon H., et J. Caneill., 2004b**. Morphological characterisation of soil structure in tilled fields: from a diagnosis method to the modelling of structural changes over time. *Soil & Tillage Research* 79:33-49.
- **Roger-Estrade J., Richard G., Boizard H., Defossez P., Manichon H., et J. Caneill., 2004 a**- SISOL: Un modèle d'évolution de l'état structural des couches de sol cultivées. *Etude et Gestion des Sols* 11:33-46.
- **Roper, M. M. & Gupta, V. V. S. R. 1995**. Management practices and soil biota. *Australian Journal of Soil Research*, **33**, 321-339.
- **Saber, N. & Mrabet, R. 2002**. Impact of no tillage and crop sequence on selected soil quality attributes of a vertic calcixeroll soil in Morocco. *Agronomie*, **22**, 451-459.
- **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.
- **Scott Murrell, 1998** - Efficient Fertilizer Use - Tillage and Fertilizer Interaction. Data: Illinois, USA. Cited in PPI. Fertilizer management for today's tillage systems.
- **Seltzer P., 1946** - Travaux de l'institut de météorologie et de physique du globe de l'Algérie. Université d'Alger, 219p.
- **Shipitalo, M. J. & Protz, R. 1987**. Comparison of morphology and porosity of a soil under conventional and zero tillage. *Canadian Journal of Soil Science*, **67**, 445-456.
- **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.

- **Smith P., Powlson D.S., Glendining M.J. & Smith J.U., 1998**, Preliminary estimates of the potential for carbon mitigation in European soils through no-till farming, *Global Change Biology* 4, Blackwell Science Ltd., pp 679-685.
- **Smith P., Powlson D.S., Smith J.U., Falloon P. & Coleman K., 2000**, Meeting Europe's climate change commitments: quantitative estimates of the potential for carbon mitigation by agriculture, *Global Change Biology* 6, Blackwell Science Ltd., pp 525-539.
- **Soane, B.D., 1973** - Techniques for measuring changes in the packing state and cone resistance of soil after the passage of wheels and tracks. *J. Soil Sci.* 24 (3): 311-323.
- **Soltner D., 1987** - Phytotechnie générale. Les bases de la production végétale T1 le sol. Collection sciences et techniques agricoles. 17ème édition, Paris, 229 p.
- **Souty N, 1987** - Aspect mécanique de la croissance des racines. I. - Mesure de la force de pénétration. *Agronomie*, 7 (8), 623-630.
- **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.
- **Suwardji, P. & Eberbach, P. L. 1998.** Seasonal changes of physical properties of an Oxic Paleustalf (Red Kandosol) after 16 years of direct drilling or conventional cultivation. *Soil & Tillage Research*, 49, 65-77.
- **Tardieu F., 1994** - Growth and functioning of roots and root systems subjected to soil compaction. Towards a system with multiple signalling ? *Soil and Tillage research*, 30 : 217-234.
- **Taser et Metinoglu, 2005** - *Soil Biology and Biochemistry* Volume 34, Issue 6, June 2002, Pages 833–840.
- Taylor and Gardner, 1963.- Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content, and strength of soil. *Soil Sci.* 96 (1963), pp. 153–156.
- **Tebrügge F et Düring R.A., 1999** - Reducing tillage intensity -- a review of results from a long-term study in Germany. *Soil and Tillage Research* 53:15-28.
- **Tollner W. E. ET Verma, B. P., 1984.** Modified cone penetrometer for measuring soil mechanical impedance. *Tram. ASAE* 27: 331-336
- **Trewavas AJ, 2002** - Plant cell signal transduction; the emerging phenotype. *The Plant Cell* 14: S3–4.

- **Tropes M.L., 2009** – la rotation : diversité, stabilité, rentabilité. Au jour culture. N° 132.
- **Unger, P. W. & Jones, O. R. 1998.** Long-term tillage and cropping systems affect bulk density and penetration resistance of soil cropped to dryland wheat and grain sorghum. *Soil & Tillage Research*, **45**, 39-57.
- **Vallee J.F., 2005** - Terre vivante, Lilith Production, 2005.
- **Van den Bygaart, 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.
- **Voss, M. C., Ulber, B. & Hoppe, H. H. 1998.** Impact of reduced and zero tillage on activity and abundance of slugs in winter oilseed rape. *Journal of Plant Diseases and Protection*, **105**, 632-640.
- **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.
- **Willcocks T.J., 1984** - Tillage requirements in relation to soil type in semi-arid rainfed agriculture. *Journal of Agricultural Engineering Research* 30: 327-336.
- **Willson, H. R. & Eisley, J. B. 1992.** Effects of tillage and prior crop on the incidence of 5 key pests on Ohio corn. *Journal of Economic Entomology*, **85**, 853-859.
- **Xu, D., Mermoud, A., 2001.** Topsoil properties as affected by tillage practices in North China. *Soil Tillage Res.* 60, 11–19.
- **Zitouni Z., 2006** - Cinétique de quelques paramètres physiologiques du blé dur *triticum durum* (variété vitron) sous contrainte hydrique dans la plaine de la Mitidja. thèse. mag. ENSA. El harrach. Alger.

Annexes

Site 01 :**Annexe 1**

Variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif

profondeurs(cm)	stades	H% TCT	H% SDT	H% TCNT	H% SDNT
0 a 10	S1	14,338	13,501	16,555	12,556
	S2	13,484	12,744	12,343	12,349
	S3	13,608	12,653	13,130	13,130
	S4	13,813	13,223	9,763	14,423
	S5	9,134	10,77	9,78	10,19
10 a 20	S1	14,210	14,756	16,429	15,132
	S2	13,202	12,602	12,140	12,655
	S3	13,164	12,303	12,733	12,733
	S4	9,483	10,928	8,860	10,666
	S5	9,70	12,90	9,84	10,85
20 a 30	S1	14,897	14,915	16,152	15,322
	S2	12,928	13,379	12,091	12,700
	S3	13,605	12,247	12,926	12,926
	S4	14,160	13,908	14,034	13,610
	S5	10,80	12,32	10,241	12,20

Annexe 2

Variation de la porosité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif

profondeurs(cm)	stades	n% TCT	n% SDT	n% TCNT	n% SDNT
0 a 10	S1	44,391	44,897	44,812	45,102
	S2	52,285	49,572	53,152	58,576
	S3	47,663	53,185	52,872	53,037
	S4	60,927	65,358	62,275	50,193
	S5	65,230	65,235	40,080	52,360
10 a 20	S1	53,204	44,943	48,334	45,055
	S2	57,226	56,752	58,738	57,221
	S3	53,508	54,345	58,068	55,149
	S4	55,556	58,881	52,900	56,734
	S5	54,970	64,239	45,040	60,590
20 a 30	S1	49,194	46,605	50,934	43,611
	S2	53,620	54,394	59,537	51,407
	S3	51,766	52,517	55,134	50,014
	S4	58,073	53,924	50,813	58,145
	S5	59,480	68,601	45,040	45,160

Annexe 3

Mesure de la densité réelle du sol

Volume initial de l'eau (cm ³)	Volume		poids sec du sol (g)	La densité réelle du sol (g/cm ³)
	final de l'eau (cm ³)	Vi-Vf (cm ³)		
300	475	175	410	2,34
280	450	170	410	2,41
330	480	150	410	2,73

285	460	175	410	2,34
340	510	170	410	2,41
325	490	165	410	2,48
175	350	175	410	2,34
265	440	175	410	2,34
300	470	170	410	2,41
180	350	170	410	2,41
			Moyenne :	2,42

Annexe 4

Variation de la résistance pénétrométrique du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif

profondeurs(cm)	stades	Rp(daN/cm ²) TCT	Rp(daN/cm ²) SDT	Rp(daN/cm ²) TCNT	Rp(daN/cm ²) SDNT
0 a 10	S1	4,599	6,314	2,694	5,829
	S2	6,141	6,743	6,060	6,404
	S3	4,444	5,723	5,590	6,420
	S4	4,677	6,039	3,939	5,831
	S5	6,000	6,74	7,31	6,63
10 a 20	S1	8,686	10,566	7,335	10,426
	S2	10,454	11,716	10,789	12,316
	S3	9,265	9,999	9,919	10,240
	S4	9,483	10,928	8,860	10,666
	S5	10,13	11,69	10,63	10,90
20 a 30	S1	8,952	10,911	8,765	10,505
	S2	10,600	11,938	10,834	12,369
	S3	9,572	10,263	9,766	10,281
	S4	10,217	11,356	9,688	11,553
	S5	11,78	14,08	10,775	12,53

Annexe 5

Variation de la densité racinaire en relation avec la profondeur et le stade végétatif

les traitements	stades	volume (cm ³)	poids des racines (g)	densité racinaire (g/cm ³)	densité racinaire (g/dm ³)
TCT	stade épiaison	6000	123	0,021	20,500
		6000	111	0,019	18,500
		6000	80	0,013	13,333
	stade floraison	6000	179	0,030	29,833
		6000	283	0,047	47,167
		6000	450	0,075	75,000
	stade maturation	6000	341	0,057	56,833
		6000	408	0,068	68,000
		6000	479	0,080	79,833
SDT	stade épiaison	6000	89	0,015	14,833
		6000	115	0,019	19,167
		6000	107	0,018	17,833
	stade floraison	6000	150	0,025	25,000
		6000	97	0,016	16,167
		6000	295	0,049	49,167
	stade maturation	6000	123	0,021	20,500
		6000	249	0,042	41,500
		6000	301	0,050	50,167
	stade épiaison	6000	69	0,012	11,500
		6000	101	0,017	16,833
		6000	114	0,019	19,000

TCNT	stade floraison	6000	62	0,010	10,333
		6000	98	0,016	16,333
		6000	112	0,019	18,667
	stade maturation	6000	119	0,020	19,833
		6000	131	0,022	21,833
		6000	121	0,020	20,167
SDNT	stade epiaison	6000	23	0,004	3,833
		6000	48	0,008	8,000
		6000	65	0,011	10,833
	stade floraison	6000	31	0,005	5,167
		6000	49	0,008	8,167
		6000	38	0,006	6,333
	stade maturation	6000	29	0,005	4,833
		6000	69	0,012	11,500
		6000	81	0,014	13,500

Annexe 6

Variation du poids de mille grains (g) pour les quatre blocs

	B1	B2	B3	B4
TCT1	39,23	39,21	36,76	44,55
TCT2	42,56	37,7	40,21	38,55
moyenne	40,895	38,455	38,485	41,55
SDT1	39,09	43,21	37,44	40,5
SDT2	36,89	37,89	36,36	38,16
moyenne	37,99	40,55	36,9	39,33

TCNT1	25,34	30,05	21,9	26,9
TCNT2	22,56	25,26	22,67	22,78
moyenne	23,95	27,655	22,285	24,84
SDNT1	22,98	24,35	23,19	30,97
SDNT2	21,99	25,83	28,18	21
moyenne	22,485	25,09	25,685	25,985

Annexe 7

Variation du nombre de grains par epi pour les parcelles travaillées et traitées a l'herbicide

	N° d'échantillon	B1	B2	B3	B4
	1	38	55	53	31
	2	52	40	36	43
	3	53	50	22	57
	4	27	35	55	48
	5	18	46	45	39
	6	43	35	33	25
TCT	7	33	40	29	55
	8	21	25	57	46
	9	39	37	56	35
	10	18	28	61	33
	MOYENNE	34,2	39,1	44,7	41,2

Annexe 8

Variation du nombre de grains par epi pour les parcelles menées en semis direct et traitées a l'herbicide

	N° d'échantillon	B1	B2	B3	B4
	1	61	42	36	50

	2	25	64	52	45
	3	49	35	48	19
	4	37	48	35	53
SDT	5	31	17	50	45
	6	35	66	59	27
	7	39	37	44	40
	8	31	21	48	56
	9	28	37	27	46
	10	29	28	49	39
	MOYENNE	36,5	39,5	44,8	42

Annexe 9

Variation du nombre de grains par épi pour les parcelles travaillées et non traitées à l'herbicide

	N° d'échantillon	B1	B2	B3	B4
	1	31	27	13	44
	2	33	49	39	39
	3	28	20	26	8
	4	29	33	22	42
TCNT	5	31	2	37	34
	6	17	51	46	4
	7	24	22	27	30
	8	43	6	23	46
	9	30	22	24	45
	10	39	13	36	28
	MOYENNE	30,5	24,5	29,3	32

Annexe 10

Variation du nombre de grains par épi pour les parcelles non travaillées et non traitées à l'herbicide

	N° d'échantillon	B1	B2	B3	B4
	1	19	42	36	13
	2	33	25	19	25
	3	34	35	5	46
	4	18	25	38	30
SDNT	5	15	25	28	21
	6	24	29	16	7
	7	24	22	12	37
	8	20	26	40	28
	9	20	29	39	17
	10	22	32	44	15
	MOYENNE	22,9	29	27,7	23,9

Annexe 11

Variation du nombre de grains au m² pour le bloc 1

La technique culturale et le traitement herbicide	Nombre de grains par épi	Nombre d'épi par m ²	Nombre de grains au m ²
TCT	34,2	302	10328,40
SDT	36,5	302	11023,00
TCNT	30,5	76	2318,00
SDNT	22,9	72	1648,80

Annexe 12

Variation du nombre de grains au m² pour le bloc 2

La technique culturale et le traitement herbicide	Nombre de grains par épi	Nombre d'épi par m²	Nombre de grains au m²
TCT	39,1	309	12081,90
SDT	39,5	272	10744,00
TCNT	24,5	78	1911,00
SDNT	29	42	1218,00

Annexe 13

Variation du nombre de grains au m² pour le bloc 3

La technique culturale et le traitement herbicide	Nombre de grains par épi	Nombre d'épi par m²	Nombre de grains au m²
TCT	44,7	303	13544,10
SDT	44,8	295	13216,00
TCNT	29,3	76	2226,80
SDNT	27,7	9	249,30

Annexe 14

Variation du nombre de grains au m² pour le bloc 4

La technique culturale et le traitement herbicide	Nombre de grains par epi	Nombre d'epi par m²	Nombre de grains au m²
TCT	41,2	308	12689,60
SDT	42	286	12012,00
TCNT	32	64	2048,00
SDNT	23,9	33	788,70

Annexe 15

Estimation du rendement théorique pour les quatre blocs

	La technique culturale et le traitement herbicide	Nombre de grains par epi	Nombre d'epi par m²	Nombre de grains au m²	Le poids de mille grains (g)	Le rendement théorique (q/ha)
	TCT	34,2	302	10328,40	40,895	42,24
B1	SDT	36,5	302	11023,00	36,525	40,26
	TCNT	30,5	76	2318,00	23,95	5,55
	SDNT	22,9	72	1648,80	22,485	3,71
	TCT	39,1	309	12081,90	38,455	46,46
	SDT	39,5	272	10744,00	39,495	42,43
B2	TCNT	24,5	78	1911,00	27,655	5,28
	SDNT	29	42	1218,00	25,09	3,06
	TCT	44,7	303	13544,10	38,485	52,12
	SDT	44,8	295	13216,00	36,9	48,77
B3	TCNT	29,3	76	2226,80	22,285	4,96
	SDNT	27,7	9	249,30	25,685	0,64
	TCT	41,2	308	12689,60	41,55	52,73
	SDT	42	286	12012,00	39,33	47,24
B4	TCNT	32	64	2048,00	24,84	5,09

	SDNT	23,9	33	788,70	25,985	2,05
--	------	------	----	--------	--------	------

Site 02 :

Mesure de l'humidité

Tableau 1 : l'humidité avant labour a une profondeur de 10 cm

Echantillon	Poids humide (g)	Poids sec (g)	Poids de l'eau (g)	H%
1	228	200	28	14,00
2	218,05	202,45	15,6	7,71
3	249,08	228,05	21,03	9,22
4	234,35	216,36	17,99	8,31
			Moyenne :	9,81

Tableau 2 : l'humidité avant labour a une profondeur de 20 cm

Echantillon	Poids humide (g)	Poids sec (g)	Poids de l'eau (g)	H%
1	465	407,95	57,05	13,98
2	426	377,45	48,55	12,86
3	323	285,5	37,5	13,13
4	330	290	40	13,79
			Moyenne :	13,44

Tableau 3 : l'humidité avant labour a une profondeur de 30 cm

échantillon	Poids humide (g)	Poids sec (g)	Poids de l'eau (g)	H%
1	473	411,52	61,48	14,94
2	461	410,18	50,82	12,39
3	393,5	349,38	44,12	12,63
4	424,85	381	43,85	11,51
			Moyenne :	12,87

Tableau 4 : l'humidité avant labour a une profondeur de 40 cm

échantillon	Poids humide (g)	Poids sec (g)	Poids d'eau (g)	H%
1	409	350,32	58,68	16,75
2	427,31	378,88	48,43	12,78
3	358,1	316,37	41,73	13,19
4	399,01	350	49,01	14,00
			Moyenne :	14,18

Tableau 5 : l'humidité avant labour a une profondeur de 50 cm

échantillon	Poids humide (g)	Poids sec (g)	Poids d'eau (g)	H%
1	336,07	286,13	49,94	17,45
2	458,15	408,55	49,6	12,14
3	399,22	350,66	48,56	13,85
4	422,96	382	40,96	10,72
			Moyenne :	13,54

Tableau 6 : l'humidité avant labour a une profondeur de 60 cm

échantillon	Poids humide (g)	Poids sec (g)	Poids d'eau (g)	H%
1	491,3	432,18	59,12	13,68
2	423	374,78	48,22	12,87
3	419,26	362,92	56,34	15,52
4	440,58	389,25	51,33	13,19
			Moyenne :	13,81

Tableau 8 : l'humidité avant labour a une profondeur de 80 cm

échantillon	Poids humide (g)	Poids sec (g)	Poids d'eau (g)	H%
1	507,18	433,83	73,35	16,91
2	292,2	252,45	39,75	15,75
3	275,3	237,49	37,81	15,92
4	140,36	122	18,36	15,05
			Moyenne :	15,91

Tableau 9 : l'humidité avant labour a une profondeur de 100 cm :

échantillon	Poids humide (g)	Poids sec (g)	Poids d'eau (g)	H%
1	476,2	407,2	69	16,94

Tableau 10: l'humidité après labour a une profondeur de 10 cm

échantillon	Poids humide (g)	Poids sec (g)	Poids de l'eau (g)	H%
1	287	245	42	17,14
2	233	196	37	18,88
3	261,76	226	35,76	15,82
			Moyenne :	17,28

Tableau 11: l'humidité après labour a une profondeur de 20 cm

échantillon	Poids humide (g)	Poids sec (g)	Poids de l'eau (g)	H%
1	306,38	263	43,38	16,49
2	404	349	55	15,76
3	360	308	52	16,88
			Moyenne :	16,38

Tableau 12: l'humidité après labour a une profondeur de 30 cm

échantillon	Poids humide (g)	Poids sec (g)	Poids de l'eau (g)	H%
1	435	378	57	15,08
2	473	408,13	64,87	15,89
3	440,16	381	59,16	15,53
			Moyenne :	15,50

Tableau 13: l'humidité après passage du cover crop a une profondeur de 10 cm

échantillon	Poids humide (g)	Poids sec (g)	Poids de l'eau (g)	H%
1	356	322	34	10,56
2	402	350	52	14,86
3	396	356,6	39,4	11,05
			Moyenne :	12,15

Tableau 14: l'humidité après passage du cover crop a une profondeur de 20 cm

échantillon	Poids humide (g)	Poids sec (g)	Poids de l'eau (g)	H%
1	222,65	190,68	31,97	16,77
2	396,58	350,89	45,69	13,02
3	298,78	259,64	39,14	15,07
			Moyenne :	14,95

Tableau 15: l'humidité après passage du cover crop a une profondeur de 30 cm

échantillon	Poids humide (g)	Poids sec (g)	Poids de l'eau (g)	H%
1	456,89	402,69	54,2	13,46
2	378,98	333,33	45,65	13,70
3	189,58	168,48	21,1	12,52
			Moyenne :	13,23

Tableau 16: l'humidité après passage du cultivateur a dents à une profondeur de 10 cm

échantillon	Poids humide (g)	Poids sec (g)	Poids de l'eau (g)	H%
1	356,86	328,68	28,18	8,57
2	468,25	431,89	36,36	8,42
3	420,25	390,9	29,35	7,51
			Moyenne :	8,17

Tableau 17: l'humidité après passage du cultivateur a dents à une profondeur de 20 cm

échantillon	Poids humide (g)	Poids sec (g)	Poids de l'eau (g)	H%
1	436,78	390,5	46,28	11,85
2	345,86	303,54	42,32	13,94

3	222,69	199,76	22,93	11,48
			Moyenne :	12,42

Tableau 18: l'humidité après passage du cultivateur a dents à une profondeur de 30 cm

échantillon	Poids humide (g)	Poids sec (g)	Poids de l'eau (g)	H%
1	198,69	178,56	20,13	11,3
2	269,58	240,8	28,78	12,0
3	387,41	339,44	47,97	14,1
			Moyenne :	12,5

Tableau 19: l'humidité après développement de la culture (stade montaison) à une profondeur de 10 cm

échantillon	Poids humide (g)	Poids sec (g)	Poids de l'eau (g)	H%
1	348,69	317,58	31,11	9,80
2	369,54	333,69	35,85	10,74
3	401,25	373,7	27,55	7,37
			Moyenne :	9,30

Tableau 20: l'humidité après développement de la culture (stade montaison) à une profondeur de 20 cm

échantillon	Poids humide (g)	Poids sec (g)	Poids de l'eau (g)	H%
1	403,69	353,26	50,43	14,28
2	389,36	345,36	44	12,74
3	352,25	314,05	38,2	12,16
			Moyenne :	13,06

Tableau 21: l'humidité après développement de la culture (stade montaison) à une profondeur de 30 cm

échantillon	Poids humide (g)	Poids sec (g)	Poids de l'eau (g)	H%
1	220,98	195,69	25,29	12,92
2	285,59	255,36	30,23	11,84
3	263,96	235,4	28,56	12,13
			Moyenne :	12,30

Mesure de la porosité

Tableau 22: la porosité avant labour

échantillon	Poids sec (g)	Volume (cm ³)	Da (g/cm ³)	Dr (g/cm ³)	La porosité (%)
1	196	166,81	1,17498951	2,45	52,04
2	267	166,81	1,60062346	2,45	34,67
3	233	166,81	1,39679875	2,45	42,99
4	258	166,81	1,54666986	2,45	36,87
5	253	166,81	1,51669564	2,45	38,09
6	230	166,81	1,37881422	2,45	43,72
7	240	166,81	1,43876266	2,45	41,27
8	261	166,81	1,5646544	2,45	36,14
9	257	166,81	1,54067502	2,45	37,12
		moyenne:	1,46207595	Moyenne :	40,32

Tableau 23: la porosité après labour

échantillon	Poids sec (g)	Volume (cm ³)	Da (g/cm ³)	Dr (g/cm ³)	La porosité (%)
1	196,54	166,81	1,17822673	2,45	51,91
2	199,65	166,81	1,19687069	2,45	51,15
3	223,5	166,81	1,33984773	2,45	45,31
4	235,58	166,81	1,41226545	2,45	42,36
5	208,65	166,81	1,25082429	2,45	48,95
6	200,36	166,81	1,20112703	2,45	50,97
7	185,65	166,81	1,11294287	2,45	54,57
8	190	166,81	1,13902044	2,45	53,51
9	235,91	166,81	1,41424375	2,45	42,28
		moyenne:	1,24948544	moyenne:	49,00

Tableau 24: la porosité après passage du cover crop

échantillon	Poids sec (g)	Volume (cm ³)	Da (g/cm ³)	Dr (g/cm ³)	La porosité (%)
1	205,36	166,81	1,23110125	2,45	49,75
2	223,68	166,81	1,3409268	2,45	45,27
3	206,87	166,81	1,24015347	2,45	49,38
4	185,69	166,81	1,11318266	2,45	54,56
5	195,18	166,81	1,17007374	2,45	52,24
6	198,21	166,81	1,18823812	2,45	51,50
7	235,65	166,81	1,41268509	2,45	42,34

8	175,86	166,81	1,05425334	2,45	56,97
9	190	166,81	1,13902044	2,45	53,51
		moyennes:	1,20995943	moyennes:	50,61

Tableau 25: la porosité après passage du cultivateur a dents

échantillon	Poids sec (g)	Volume (cm ³)	Da (g/cm ³)	Dr (g/cm ³)	La porosité (%)
1	177	166,81	1,06108746	2,45	56,69
2	218	166,81	1,30687609	2,45	46,66
3	162	166,81	0,9711648	2,45	60,36
4	215	166,81	1,28889155	2,45	47,39
5	179	166,81	1,07307715	2,45	56,20
6	202	166,81	1,21095858	2,45	50,57
7	211	166,81	1,26491218	2,45	48,37
8	200	166,81	1,19896889	2,45	51,06
9	183	166,81	1,09705653	2,45	55,22
		Moyenne :	1,16366591	Moyenne :	52,50

Tableau 26: la porosité après développement de la culture (stade montaison)

échantillon	poids sec (g)	Volume (cm ³)	Da (g/cm ³)	Dr (g/cm ³)	n (%)
1	232,07	166,81	1,391224	2,45	43,22
2	195,27	166,81	1,170613	2,45	52,22
3	182,23	166,81	1,092441	2,45	55,41
4	233,39	166,81	1,399137	2,45	42,89
5	224,49	166,81	1,345783	2,45	45,07
6	219,31	166,81	1,314729	2,45	46,34
7	226	166,81	1,354835	2,45	44,70
8	219,91	166,81	1,318326	2,45	46,19
9		Moyenne :	1,298386	Moyenne :	47,00

Mesure de la résistance pénétrométrique

Tableau 27 : la résistance penetrometrique avant labour

Profondeur (cm)	Rp1	Rp2	Rp3	Rp4	Rp5	moyenne Rp
0	0	0	0	0	0	0
2	0,1	0,1	0,2	0,1	0	0,1
4	5	7,3	5,2	6,2	4,2	5,58

6	8,9	9,5	9,2	9,4	9	9,2
8	9,3	9,5	9,4	9,5	9	9,34
10	9,1	9,5	9,4	9,5	9	9,3
12	9,1	9,5	9,4	9,5	9	9,3
14	9	9,4	9,4	9,2	9	9,2
16	8,8	9,5	9,4	9,1	9	9,16
18	8,3	9,5	9,4	9,1	8,2	8,9
20	0,2	5,4	4	4	3,1	3,34
22	0,1	5,4	2,1	3,1	3	2,74
24	0,1	4,8	2	2,6	2,7	2,44

Tableau 28: la résistance penetrometrique après labour

profondeur	Rp1	Rp2	Rp3	Rp4	Rp5	Rp6	Rp7	Rp8	Rp9	Rp Moyenne
0	0,1	0,1	0,1	0	0	0	0	0,3	5,1	0,6
2	7	0,2	0,1	0,1	0	0,1	0,1	1,3	4,9	1,6
4	2,7	3,7	3,7	1,6	0,1	0,2	0,5	1,3	5	2,3
6	2,6	6,4	4,7	3,2	0,1	0,3	1,4	1,3	6,3	3,2
8	2	7,6	4,2	3,4	0,2	1,5	1,7	1,4	6,8	3,7
10	1,6	7,6	4,2	3	0,2	4,2	1,6	1,7	6,9	4,1
12	1,5	6,2	3,9	2,3	0,3	6,1	1,6	2	6,8	4,3
14	1,4	5,5	3,3	1,7	0,3	5,8	1,6	1,9	6,4	4,2
16	2,1	4,8	2,9	1,7	0,4	5,9	1,6	2,3	5,6	4,3
18	3,4	4,5	2,6	1,7	0,6	6,5	1,6	2,2	5	4,6
20	3,8	4,5	2,3	2,4	0,6	8,2	1,6	2,2	4,8	5
22	3,8	4,4	2,2	4,6	0,6	8,5	1,6	2,3	4,7	5,5
24	3,8	4,9	2,6	5,6	0,8	7,4	3,8	2,6	3,5	5,9

Tableau 29 : La résistance penetrometrique après passage du cover crop

profondeur	Rp1	Rp2	Rp3	Rp4	Rp5	Rp6	Rp7	Rp8	Rp9	Rp Moyenne
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,1	3,1	0,1	0,7	0,1	0,9	2,5	0,1	3,6	1,3
4	0,2	2,4	0,3	1,7	1,4	3,1	3	0,8	7,7	2,5
6	1,2	1,8	3,9	1,2	5,2	6,1	2,8	2,4	8,4	3,9
8	1,7	1,1	7,4	4,5	8,1	8,6	2,6	3,8	8	5,4
10	3,4	1,1	7,9	6,4	8,4	8,4	4,4	7,2	7,5	6,5

12	3,5	1,1	7,9	6,8	7,8	7,9	7,6	8,6	7,3	7,1
14	3,5	1,1	7,8	6,5	7,1	7,7	9,1	9,4	8,1	7,4
16	3,4	1,1	7,2	6,1	6,7	7,8	9,1	9,4	8,7	7,6
18	4,7	1,1	6,3	6,2	6,5	7,8	9	9,5	9,2	7,8
20	5,2	1,1	6,3	6,6	6,3	7,5	8,6	9,3	9,3	8
22	5,6	3	5,6	7,8	6,5	7,5	8,8	9	9,2	8,5
24	5,8	3	5	0,3	6,7	7,2	9,5	9,4	9	8
26	7,1	3	4,4	0,3	7,1	7	9,7	9,4	8,6	8,3

Tableau 30 : La résistance penetro-metrique après passage du cultivateur a dents

profondeur	Rp1	Rp2	Rp3	Rp4	Rp5	Rp6	Rp7	Rp8	Rp9	Rp Moyenne
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0,1	0,1	1,5	0,1	0,1	0,4
4	0,1	0,1	0,1	0	0,1	5,1	3	1,2	0,2	1,4
6	0,1	0,8	0,1	0,2	0,2	4,8	3,3	2,6	0,4	1,9
8	0,1	2,4	0,1	8,7	0,3	6	3,5	3,9	0,5	3,4
10	0,1	6,5	0,2	8,7	0,4	8,5	4,1	5,4	1	4,5
12	4,2	8,2	1	8,7	2,2	8,7	5,6	5,7	3,1	5,9
14	8,2	8,3	6,3	8,7	5	8,9	7,2	8,1	5,8	8,1
16	8,2	7,9	9	8,7	8	9,7	8,3	8,2	6	9
18	8,2	7,2	8,8	8,8	8,1	9,7	8,5	8,2	6	9,2
20	8,2	6,6	7,5	8,9	7,8	9,8	8,3	8,2	6,1	9,1
22	8,1	6,2	8,5	9	7,3	9,9	8,2	8,2	9,4	9,7
24	8	6	8,1	6,4	7,6	8,4	8	8,4	9,6	9,5
26	7,8	5,8	8,6	5	7,9	8	8	8,5	9,6	9,5

Tableau 31 : La résistance penetro-metrique après développement de la culture (stade montaison)

profondeur	Rp1	Rp2	Rp3	Rp4	Rp5	Rp6	Rp7	Rp Moyenne
0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0,2	0	0,2	0	0	0,3
4	1,19	0,2	2	0,9	2,6	0,2	0,3	1,4
6	5,61	2,6	4,8	6,3	5,4	5,6	7,5	5,5
8	6,97	5,6	7,3	8	7,1	8,8	10	7,8
10	9,69	7,3	8,2	8	11	11	11	9,5
12	10,88	8,7	12	8,2	12	13	13	11
14	11,56	9	11	11	12	14	15	12

16	12,07	9	12	11	12	13	15	13
18	12,24	9	13	12	12	13	16	13
20	13,09	9	14	12	13	16	16	14
22	13,77	9	14	13	12	14	16	14
24	15,64	6,8	14	13	9,4	11	16	14
26	15,64	5,3	14	13	7,7	9	16	13

Mesure de l'aptitude au tassement du sol

poids sec (g)	poids humide (g)	Force de pression (daN)	pression (daN/cm ²)	Vo (cm ³)	V (cm ³)	Vo - V (cm ³)	ρs (g/cm)
119	119	41,00	8,37	84,78	74,89	9,89	1,59
119	130,9	43,67	8,91	84,78	67,82	16,96	1,75
119	133,28	46,00	9,39	84,78	59,58	25,20	2,00
119	135,66	41,67	8,50	84,78	56,28	28,50	2,11
119	138,04	40,67	8,30	84,78	54,64	30,14	2,18
119	140,42	40,00	8,16	84,78	52,28	32,50	2,28
119	142,8	41,50	8,47	84,78	49,36	35,42	2,41
119	145,18	40,00	8,16	84,78	52,59	36,41	2,26
119	147,56	41,50	8,47	84,78	65,37	36,79	1,82
119	149,94	41,67	8,50	84,78	65,97	38,41	1,80