

**Ecole Nationale Supérieure Agronomique El Harrach – Alger**  
Thèse en vue de l'obtention du diplôme de magister en sciences agronomiques  
Département : génie rural  
Section : machinisme agricole et agro-équipement

***ANALYSE DU COMPORTEMENT DU SOL  
SOUS L'ACTION DE DEUX TECHNIQUES  
DE MISE EN PLACE D'UNE CULTURE DE  
CEREALE (*Triticum durum*)***

Présentée par :

**Mr. FEDDAL Med Amine**

Directeur de thèse : AMARA Mahfoud (Maître de conférence - ENSA-El Harrach)  
24 février 2011

Le jury : Président : AIDAOUI Abdallah (Professeur - ENSA-El-Harrach) Examineurs : REGUIEG  
Lyes (Maître de conférences ENSA-El-Harrach) GUEDIOURA Ilham (chargée de cours - ENSA-El-  
Harrach)



# Table des matières

Dédicace . . .	6
Remerciements . . .	7
Résumé . . .	8
Abstract . . .	9
صّخلملا . . .	10
Liste des abréviations . . .	11
Introduction générale . . .	12
Partie bibliographique . . .	15
<b>Chapitre 1 : Objectifs et importance des opérations de préparations du sol . . .</b>	<b>15</b>
1.1. Introduction . . .	15
1.2. Objectifs des opérations de préparation du sol . . .	15
1.3. Présentation des outils aratoires . . .	17
1.4. Place et importance des labours dans l'itinéraire technique . . .	17
1.5. Effet du travail du sol sur la circulation de l'eau dans le sol : . . .	18
1.6. Travail du sol et matière organique . . .	20
1.7. Les problèmes liés au labour : . . .	21
1.8. Présentation des techniques sans labours : . . .	22
1.9. Conclusion . . .	24
<b>Chapitre 2 : Effet de l'état structural du sol sur le développement racinaire . . .</b>	<b>25</b>
2.1. Introduction . . .	25
2.2. État du système racinaire et son effet sur le développement de la plante . . .	26
2.3. Influence des facteurs physico- mécaniques du sol sur le développement racinaire . . .	26
2.4. La pression des racines sur le sol . . .	34
2.5. Conclusion . . .	34
<b>Chapitre 3 : Les modes d'actions des différentes pièces travaillantes . . .</b>	<b>35</b>
3.1. Introduction . . .	35
3.2. Mode d'action d'un corps de charrue à socs sur le sol . . .	35
3.3. Mode d'action d'un outil à disques sur le sol (cas du cover – crop) . . .	38
3.4. Mode d'action des outils à dents sur le sol . . .	39
3.5. Comportement du sol sous l'action d'un outil aratoire . . .	40
Conclusion : . . .	45
<b>Chapitre 4 : Caractérisation des sols agricoles . . .</b>	<b>45</b>
4.1. Introduction . . .	45
4.2. La résistance pénétrométrique . . .	46
4.3. Effets de la rotation des cultures sur les propriétés du sol . . .	52
4.4. Effet des machines agricoles sur les propriétés du sol . . .	53
4.5. Conclusion . . .	56
Conclusion bibliographique . . .	57
Partie expérimentale . . .	59

<b>Chapitre 5 (les essais préliminaires) : Etude de l'effet du compactage des sols sur le développement racinaire d'une culture de sorgho. . .</b>	<b>59</b>
Introduction et objectifs de l'expérimentation . . .	59
5.1. Introduction . . .	60
5.2. Matériels utilisés . . .	60
5.3. Méthodologie suivie . . .	63
5.4. Résultats et interprétations . . .	71
5.5. Conclusion . . .	75
<b>Chapitre 6 : présentation du milieu d'étude . . .</b>	<b>75</b>
6.1. Conditions pédoclimatiques du milieu d'étude . . .	75
<b>Chapitre 7 : matériels et méthodes . . .</b>	<b>81</b>
7.1. Protocole expérimental . . .	81
7.2. Matériels d'étude . . .	83
7.3. Conduite et suivi de l'étude expérimentale . . .	89
7.4. Techniques et méthodes de mesure . . .	89
<b>Chapitre 8 : Analyse de l'effet des techniques culturales sur les propriétés du sol (Humidité, porosité, résistance pénétrométrique) . . .</b>	<b>97</b>
8.1. Introduction . . .	97
8.2. Effet des techniques culturales sur l'humidité . . .	97
8.3. Effet des techniques culturales sur la porosité . . .	101
8.4. Effet des techniques culturales sur la résistance pénétrométrique . . .	104
8.5. Analyse statistiques des résultats de l'effet des techniques culturales sur les propriétés du sol . . .	108
8.6. Analyse de l'effet de la porosité et de l'humidité sur la résistance pénétrométrique (tous paramètres confondus) . . .	114
8.7. Conclusion . . .	115
<b>Chapitre 9 : analyse de l'effet des techniques culturales sur le développement racinaire et les composantes du rendement . . .</b>	<b>115</b>
9.1. Introduction . . .	115
9.2. Effet des techniques culturales pour la mise en place de la culture sur le développement racinaire . . .	115
9.3. Incidence des deux techniques culturales (travail conventionnel et semis direct) sur le rendement et ses composantes . . .	118
9.4. Conclusion . . .	128
<b>Chapitre 10 : analyse de l'effet du traitement à l'herbicide sur les mauvaises herbes et incidences sur les propriétés du sol (Humidité, porosité, résistance pénétrométrique) . . .</b>	<b>128</b>
10.1. Introduction . . .	128
10.2. Effet du traitement herbicide sur l'humidité . . .	129
10.3. Effet du traitement herbicide sur la porosité . . .	133
10.4. Effet du traitement herbicide sur la résistance pénétrométrique . . .	137
10.5. L'analyse statistique de l'effet du traitement herbicide sur la résistance pénétrométrique du sol . . .	138
10.6. conclusion . . .	140
<b>Chapitre 11: analyse de l'effet du traitement à l'herbicide sur le développement racinaire et les composantes du rendement . . .</b>	<b>141</b>

11.1. Introduction . .	141
11.2. Effet du traitement herbicide sur le développement racinaire . .	141
11.3. Incidence des deux techniques culturales (travail conventionnel et semis direct) sur le rendement et ses composantes . .	143
11.4. Conclusion . .	152
<b>Conclusion générale . .</b>	<b>153</b>
<b>Références bibliographiques . .</b>	<b>156</b>
<b>Annexes . .</b>	<b>163</b>
Annexe 1 . .	163
Annexe 2 . .	163
Annexe 3 . .	164
Annexe 4 . .	164
Annexe 5 . .	165
Annexe 6 . .	166
Annexe 7 . .	167
Annexe 8 . .	167
Annexe 9 . .	168
Annexe 10 . .	168
Annexe 11 . .	169
Annexe 12 . .	169
Annexe 13 . .	169
Annexe 14 . .	170
Annexe 15 . .	170
Annexe 16 . .	171
Annexe 17 . .	172
Annexe 18 . .	173

## Dédicace

*Je dédie ce travail : Tout d'abord à la mémoire de mes très chers amis AHMED et DJAAFAR qui nous ont quittés mais qui restent graver dans nos cœurs et aussi à la mémoire de tous mes frères Palestiniens, et à la mémoire de tous les musulmans partout dans le monde qui souffrent, je garde toujours une pensée pour eux. A mes très chers parents, qui m'ont tout appris, qui m'ont aidé, encouragé, soutenu, et surtout aimé. A mon frère et mes sœurs : Samir, Amal, Lila, Samira, Lynda, Soumia, et à leurs maris respectifs : Mahfoud, Cherif, Ahmed, Lyes, Chafik Aux petits : Rayan, Mehdi, Reda, Imad, Bachir, Abderraouf, Sofiane, wassim, et aussi au petit Mido Et aussi à mes trois petites chéries : Laetitia, Nadine, et Ines et la toute petite Sonia A toute ma famille, grande et petite. Je tiens à le dédier spécialement à : A ma très chère Sabrina, qui m'a beaucoup aidé et soutenu tout au long de mon cursus. Je tiens à le dédier à : A tous mes chers amis qui m'ont soutenu et particulièrement à : Krime, Hichem, a Amel Taibi, Zaki, Amina Taibi, Sofia, Moh Ramous, Moh kireche, merouane, nawel, Sihem, sarah, Fouad, Hamadi, à tous les mirmidons (de Adel ....jusqu'à Omar) sans oublier gigi, à Walid, Reda, Sab, Shahra, Fahim, Isma, Hiba, Mounir Ait si larbi, lamine, à toute ma promo de magister : hmad, schahrazad, abdelhafid, A tous mes amis et collègues, avec qui j'ai passé les meilleurs moments de ma vie, spécialement aux machinistes de la promotion 2006 et à toute la promotion 2003-2004 A tous mes professeurs du GR spécialement Mr Bakel M et Mr Kourgli M et Mme Guedioura I et Mr Kaci F Et enfin à toute personne qui reconnaîtra son empreinte sur ce modeste travail, que Dieu nous réunisse dans son vaste paradis Un machiniste ne marche jamais seul !*

## Remerciements

Je tiens avant tout à remercier ALLAH le tout puissant le miséricordieux, car sans son aide et sa bienveillance, rien de cela n'aura pu être possible.

Je tiens aussi, à exprimer ma gratitude, à Mr. AMARA.M, mon promoteur, pour avoir accepté de diriger ce travail, pour ses précieux conseils, et surtout pour son soutien tout le long de mon cursus de spécialisation.

Je remercie également, Mr. AIDAOUI.A, professeur à l'Ecole Nationale supérieure Agronomique, pour avoir accepté de présider mon jury.

Je remercie aussi, REGUIEG L, maître de conférences à l'Ecole Nationale supérieure Agronomique pour avoir accepté d'examiner mon travail, et de faire partie de mon jury.

Je remercie aussi, Mme GUEDIOURA I, chargée de cours à l'Ecole Nationale supérieure Agronomique pour avoir accepté d'examiner mon travail, et de faire partie de mon jury.

Je tiens à remercier tout les enseignants du département génie rural et spécialement de la section machinisme agricole et agroéquipements, qui ont assuré ma formation, et surtout Mr. BAKEL.M, pour ses conseils ciblés afin de me faciliter la tâche.

Je remercie aussi l'ensemble du personnel de la station expérimentale et surtout ceux de la ferme centrale de l'ENSA, et ceux du département de Génie-rural

Je tiens à remercier, mes parents, et mon frère et sœurs, mes beaux frères et mes amis qui m'ont aidés et surtout un spécial remerciement pour ma chère Sabrina qui m'a beaucoup aidé et soutenu pour la réalisation de ce travail et tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin durant la réalisation de ce travail.

Un grand merci à tous.

## Résumé

Ce travail est une contribution à la préoccupation du tassement du sol, il 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 deux techniques culturales à savoir le travail conventionnel et le semis direct. La détermination de ces paramètres permet de prévoir le comportement du système racinaire, et c'est dans ce contexte qu'on évalue le développement racinaire et le rendement avec tous ses composants tout en analysant aussi l'effet du traitement à l'herbicide sur tous ces paramètres cités. Les essais réalisés sur une parcelle de la station expérimentale de l'école nationale supérieure agronomique ont montré que l'action des pièces travaillantes modifie les valeurs de ces paramètres. La résistance pénétrométrique est réduite dans les parcelles travaillées et au niveau des parcelles infestées par les mauvaises herbes,  $R_p$  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 :  $R_p (TCNT) = 11,95 + 0,006*n - 0,31*H$ . Le développement racinaire est influencé par les techniques culturales, on a enregistré une bonne densité racinaire au niveau des parcelles labourées et traitées, et pour ce qui est du rendement: Les résultats obtenus au terme de la conduite de la culture du blé en semis direct par rapport au travail conventionnel ont montré que la culture s'est mieux comportée en travail conventionnel particulièrement pour les paramètres relatifs aux composants de rendement. On a pu constater clairement aussi que le traitement à l'herbicide a un effet certain sur le rendement de la culture. Les parcelles travaillées avec la charrue à socs et traitées, présentent un rendement supérieur par rapport à celles travaillées et non traitées

Mots clés : résistance pénétrométrique, teneur en eau, porosité, labour, outils aratoires, semis direct, désherbage, racines, rendement.



## Abstract

This work is a contribution to the concern of soil compaction; it is primarily on an analysis of changes in water content, the porosity and cone index soil under the effect of two cultivation techniques namely conventional tillage and direct seeding. The determination of these parameters allows predict the behavior of the system root, and in this context that Rated root development and performance with all its components while also analyze the effect of treatment herbicide on all these parameters mentioned.

Tests performed on a plot of experimental station of the National School showed that higher agricultural action modifies the working parts values of these parameters. The cone index is reduced plots and worked at plots infested by bad herbs, Cone Index is also strongly conditioned by water content. Average values show that the cone index is inversely proportional to the content water. These trends are illustrated by the equation:  $R_p (TCNT) = 11.95 + 0.006 * n - 0.31 * H$ . Root development is influenced by cultivation techniques, we showed a good root density in level plots plowed and treated and in terms of Performance: results obtained after conducting of wheat cultivation by direct seeding compared to conventional tillage showed that culture has performed better in especially for conventional tillage parameters related to components of performance. It has been observed clearly also that the herbicide treatment to definite effect on the performance of the culture. The plot worked with the moldboard and treated, have a superior performance compared to those processed and unprocessed

Keywords: Cone index, water content, porosity, Ploughing, tools tillage, direct seeding, weeding, root yield.

## صّ خل مل ا

هذا العمل هو مساهمة في إظهار مشكل دمج التربة ، وهو يركز على تطوّر الرطوبة المسامية ومقاومة الانضغاط في التربة و هذا تحدت ناتج عن عمل تقنيات زراعة اثنون هما التغطية لاحت والبدن المباشر. تحديد هذه المعالم يمكن ان ينبأنا بسلوك الجذور. وفي هذا السياق، تمت متابعة الجذور و المردود للمحصول و هذا مع أيضا تحليل تكبير للعلاج مبيدات الأعشاب على جميع هذه المؤشرات المذكورة. الاختبارات التي أجريت على قطعة ارض بمحطة تجريبية للمدرسة الوطنية لطبوا الزراعة، تبين ان آلات عمل للتربة تدار على قيم هذا المؤشرات مقاومة للانضغاط منخفضة في القطع المدروثة و مؤسّد القوم تبين ان مقاومة الانضغاط تتناسب عكسيا مع الرطوبة. هذه التطورات نضج في العلاقة :

$$R_p (TCNI) = 11,95 + 0,006 * r - 0,31 * H$$

تطور الجذور كل ملحوظا في القطع المدروثة و المعالجة بلامبيدات و من دم كل للمحصول و اقرا في هذه الأراضي.

الكلمات الرئيسية: مقاومة الانضغاط، لارطوبة، لاسامية، لاحت، وأنوات لاحت، لبدن المباشر، للعلاج مبيدات الأعشاب، الجذور، لالمردود

---

## Liste des abréviations

L'abréviation	La signification
DEC	diamètre équivalent de pore cylindrique
TSL	Techniques sans labour
A	L'argile
L.F	Limon fin
L.G	Limon grossier
S.F	Sable fin
S.G	Sable grossier
ENSA	Ecole nationale supérieure agronomique
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

## Introduction générale

A notre époque, le sol demeure toujours le support quasi exclusif de la croissance des plantes. Un sol bien structuré permet une croissance racinaire fournie (tant latéralement qu'en profondeur), offre une bonne aération ainsi qu'un apport constant et régulier en eau et en éléments nutritifs. Ces conditions favorisent le développement des cultures, l'obtention de rendements élevés et assurent une bonne qualité des produits récoltés.

Cependant, 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.

Selon Breune I. (1997), depuis déjà quelques décennies, le développement d'une agriculture plus intensive, souvent en monoculture, a entraîné une dégradation progressive des sols à travers le monde. Selon Hamza M.A. et Anderson W.K, (2005), l'agriculture intensive répartie partout dans le monde et impliquant des rotations de récolte plus courtes et l'utilisation des machines de plus en plus lourdes mènent à une augmentation du tassement des sols. L'ampleur du compactage des sols est estimée dans le monde entier à 68 millions hectares de terre responsable du trafic du matériel roulant. On estime que le tassement de sol est responsable de la dégradation d'une surface de 33 millions d'ha en Europe et 4 millions d'ha de la ceinture de blé dans l'Australie occidentale. Des problèmes semblables liés au tassement de sol ont été signalés dans presque chaque continent.

Selon le même auteur, bien que les systèmes d'exploitation agricole se soient sensiblement améliorés pour faire face à de nouvelles pressions liées à l'agriculture intensive, la structure de beaucoup de sols autrement sains a été détériorée dans la mesure où les rendements de récolte ont été réduits.

Selon Neve et Hofman, (2000) in Hamza M.A. et Anderson W.K, (2005), la nature et l'ampleur de cette dégradation, qui peut être exagérée par le manque de matière organique, ont été identifiées dans le monde entier. Le tassement affecte également la minéralisation du carbone et de l'azote organiques des sols aussi bien que la concentration de l'anhydride carbonique dans le sol (Conlin et Driesch, 2000, in Hamza M.A. et Anderson W.K, (2005)).

Puisque le tassement du sol diminue principalement sa porosité, l'augmentation de la porosité est une manière claire de réduire ou d'éliminer le phénomène de tassement du sol. La gestion du tassement du sol, particulièrement dans des régions arides et semi-arides, peut être réalisée entre autres par l'application appropriée de certaines ou de toutes les techniques culturales suivantes :

- addition de matière organique par des amendements humiques ;
- le trafic des machines roulantes doit être maîtrisé, type de pneumatique, gonflage des roues des tracteurs et des machines agricoles ;
- choisir une rotation qui inclut des cultures avec des racines fortes, plantes sarclées, capables de pénétrer et de décomposer la structure des sols compacts.

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

Donc, un programme de restauration de la qualité structurale des sols doit permettre de vérifier si des changements dans les pratiques culturales améliorent ou accentuent les problèmes de dégradation. À cette fin, il existe plusieurs indicateurs de la qualité structurale des sols: la masse volumique apparente, la porosité totale (plus particulièrement la macroporosité), la stabilité structurale et enfin la conductivité hydraulique, etc.

Cependant, de telles mesures sont souvent coûteuses en temps et en argent. Elles s'effectuent donc rarement chez les producteurs agricoles et s'adaptent mal à l'évaluation de la variabilité spatiotemporelle de la qualité structurale des sols. Le pénétromètre semble être un outil approprié, la mesure du cône index ou la résistance pénétrométrique du sol qu'il détermine est en effet intensivement étudié et utilisé dans la recherche agronomique pour la détection des couches de sol compact et comme moyen de caractérisation de l'état physique et mécanique du sol qui influent sur le développement des racines et par conséquent sur la croissance de plantes. (Motavalli P. P., Anderson S. H., Pengthamkeerati P. And Gantzer C. J. 2003). Le cône index présente cependant des inconvénients et des avantages

Selon Hakansson et Voorhees, (1998), Taylor et Gardner (1963), et Gerard et al, (1982), les principaux avantages de la pénétrométrie sont :

- Sa facilité et sa rapidité d'utilisation,
- Sa capacité de mesurer la variation spatiale du tassement de surface et de sous-sol,
- Son intérêt sur les relations entre les conditions physiques du sol et le développement des racines.

Selon Gérard et al. (1982), les inconvénients à l'utilisation des pénétromètres sont principalement dépendants

- De la teneur en eau du sol,
- De la texture du sol,
- De la densité apparente,
- De la teneur en matière organique,
- et de la présence des pierres et minéralogie d'argile qui fausse parfois les valeurs.

Aussi, la problématique de cette recherche se définit comme suit:

- Quels avantages peut-on trouver à passer d'une conduite des parcelles avec labour à des techniques sans labour (TSL) ? Analyse sur plusieurs paramètres.

Ou d'une autre manière :

- Quels sont les inconvénients et les problèmes liés au semis direct ? du point de vue structure du sol.

L'objectif de cette étude sera donc d'estimer la valeur de la résistance pénétrométrique comme indicateur de la qualité structurale des sols, ceci en étudiant la structure en corrélation entre différents paramètres comme la masse volumique apparente (MVA), la résistance pénétrométrique (Rp), la teneur en eau (Wp) et le rendement (RDT), 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 deux techniques culturales qui sont le semis direct et le travail conventionnel avec et sans le traitement herbicide

On essayera 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.

Cette étude sera également un moyen important pour le choix d'une mécanisation approprié des opérations de travail du sol.

# Partie bibliographique

## Chapitre 1 : Objectifs et importance des opérations de préparations du sol

### 1.1. Introduction

---

La préparation du sol est l'une des principales techniques culturales responsables du bon développement des cultures et garantissant en grande partie le haut rendement.

L'ensemble des opérations de préparation du sol comporte généralement : le déchaumage, le labour, le pseudo labour et les façons superficielles. Pour réaliser ces opérations l'agriculteur utilise plusieurs outils qui agissent mécaniquement, afin d'amener le sol à l'état physique souhaité.

Selon Barthélémy, Boisgontier, et Lajoux, (1987), les techniques culturales ont pour fonction d'agir sur les relations plantes-milieu :

- soit en mettant en terre les semences ou plants, ou en prélevant les organes souhaités
- soit en augmentant l'absorption du peuplement végétal en fournissant au milieu des quantités supplémentaires de certains éléments (fertilisation)
- soit en mettant le peuplement végétal dans un état favorable au prélèvement de ces facteurs,

Seront présentées ici les techniques culturales les plus répandues, les objectifs visés par ces techniques, les choix des techniques qui peuvent y être associés ainsi que l'influence de ces techniques sur le sol.

### 1.2. 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 et à leur développement racinaire. Il permet l'entretien du sol et la réorganisation de sa structure en vue d'accueillir une nouvelle culture dans les meilleures conditions agronomiques 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, ce tableau montre clairement que l'état initial du sol joue un rôle important sur la technique culturale à réaliser.

**ANALYSE DU COMPORTEMENT DU SOL SOUS L'ACTION DE DEUX TECHNIQUES DE MISE EN PLACE D'UNE CULTURE DE CEREALE (Triticum durum)**

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

*Tableau 1 : facteurs influant sur le choix des techniques culturales*

Source : BARTHELEMY (1994)

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 la percolation, c'est-à-dire de la descente de l'eau en profondeur, 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 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 outils 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, 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.

### **1.3. Présentation des outils aratoires**

---

Afin de situer la place du labour dans l'itinéraire technique à mettre en place pour toute production agricole, nous mentionnons ci-dessous les grands groupes d'outils ou de machines agricoles à mettre en œuvre. Selon Amara (2007), les outils aratoires sont classés comme suit :

#### **1.3.1 Matériel de travail du sol primaire**

- La charrue à socs et versoirs
- La charrue à disques
- Le cultivateur à dents ou chisel
- La houe rotative

#### **1.3.2. Matériel de travail du sol secondaire**

- Outils à dents : Les cultivateurs
- Les herses

### **1.4. Place et importance des labours dans l'itinéraire technique**

---

Tenant compte des objectifs cités ci-dessus, les labours occupent la première place dans l'itinéraire technique pour la mise en place des cultures d'une manière générale. Une mauvaise réalisation de cette opération, 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 par la suite 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 des labours doit faire l'objet d'une attention très particulière tout en tenant compte des opérations culturales ultérieures (pseudo - labour, façons superficielles et enfin le semis).

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 est conditionnée par les facteurs climatologiques, telle que la chute des premières pluies et surtout des intensités de celles-ci.

## **1.5. Effet du travail du sol sur la circulation de l'eau dans le sol :**

---

Tel que ça été mentionné précédemment, le travail du sol vise à améliorer la structure du sol, en utilisant les outils appropriés aux bons moments. Ceci, s'opère en modifiant la taille des mottes et leur cohésion sur des profondeurs données.

Généralement, on cherche par le travail du sol à changer l'état de la structure initiale du sol compacte et imperméable à une structure poreuse, grumeleuse profonde permettant une meilleure circulation de l'eau et l'air, faciliter la germination et le développement racinaire de la plante (Soltner, 1987).

Selon Barthelemy (1987), le choix des outils du travail du sol est fonction ou dépend du degré d'humidité du sol au moment de l'intervention. En effet, l'humidité indique l'aptitude du sol à être travaillé et la qualité du travail recherché. L'état hydrique d'un sol avant l'utilisation des outils est déterminant dans la mesure où il est par exemple difficile d'obtenir un émiettement en condition d'humidité excessive, par contre, le contraire est vrai dans des conditions de sols secs.

L'humidité excessive est à éviter lors de la préparation du sol en raison du risque de provoquer la formation des mottes et laissée des cavités. Généralement les interventions mécaniques sur le sol sont réalisées quand la teneur en eau avoisine la capacité au champ. (Dalleine, 1971),

Par ailleurs, dans des conditions de sécheresse, les racines sont appelées à chercher de l'eau en profondeur, mais l'excès d'eau en surface, peut aussi inhiber la croissance des racines. Cet état de fait, nous conduit à étudier les propriétés du sol et leurs incidences sur le développement de la plante.

### **1.5.1. Structure du sol**

Le travail du sol affecte les facteurs biotiques et abiotiques du sol, soit directement en modifiant les propriétés structurales du sol comme l'arrangement des vides, les agrégats, la connectivité des pores, soit indirectement en changeant les conditions d'aération, de température et de pénétrabilité du sol par les racines (Huwe, 2003). La structure du sol est le résultat, à un moment donné, de l'équilibre entre les phénomènes de tassement (par le passage d'engins agricoles, conditions humides d'intervention), de fragmentation (par le climat, la faune et/ou le travail du sol), d'agrégation (par des compactations modérées ou par le climat et/ou la faune) et de déplacement du sol par le travail du sol (Roger-Estrade et al., 2000). Il en résulte que la structure du sol est très variable au sein des couches de sol cultivées non seulement dans le temps (sous l'action des systèmes de cultures, du climat) mais aussi dans l'espace. Le sol présente donc une forte variabilité spatiale des conditions locales de circulation d'eau, d'activité biologique et d'aération (Boizard et al., 2004).

Dans les systèmes labourés, la structure du sol est principalement créée par les opérations de travail du sol tandis que dans les systèmes non travaillés (semis direct) la structure est principalement créée par l'action du climat (en surface dans les régions tempérées) et par des processus biologiques (Oorts, 2006). Il en résulte que la structure d'un sol labouré est extrêmement hétérogène. Elle est composée de l'assemblage de sol fin, de mottes compactées ou non (décimétriques), de résidus de cultures répartis le long de la bande de labour, de vides et de fissures issus de l'action de retournement, de déplacement et de fragmentation de la charrue sur la couche de sol labourée (Roger-Estrade et al., 2004b).

### **1.5.2. La masse volumique du sol (densité apparente)**

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

L'augmentation de la densité apparente du sol est toutefois moins importante dans les systèmes de travail du sol réduit que dans les systèmes type semis direct (Kay et Vanden Bygaart, 2002), voire inférieure sur 0-10 cm (D'Haene et al., 2008b). Les socs du chisel, en fragmentant le sol, réduisent la prise en masse du sol sur la profondeur de travail de l'outil et à long terme (> 11 ans), il semblerait que la densité apparente du sol soit identique à celle d'un sol labouré (D'Haene et al., 2008b). Par contre, la densité apparente de la couche de sol de surface (0-5 cm) est favorisée dans les systèmes de non travail du sol ou de travail du sol réduit par rapport à un labour en raison de la présence d'un mulch en surface (Blanco-Canqui et Lal, 2007; Guérif, 1994; Tebrügge et Düring, 1999). L'effet des différentes techniques de travail du sol sur la structure diffère selon le type de sol. Les sols sensibles aux tassements, comme les sols sableux, se prêtent moins à l'abandon du labour car leur faible activité structurale limite la régénération de la structure du sol par les phénomènes naturels de retrait-gonflement (Munkholm et al. 2003).

Le non retournement des couches de sols par la charrue ou les techniques de travail superficiel, surtout les techniques de semis direct, favorisent l'activité fouisseuse de la faune du sol, et la présence de bio pores contribue donc à diminuer les effets de ces techniques sur la densité apparente du sol sur le long terme (au-delà de 10 années d'adoption de ces techniques) (Huwe, 2003; Munkholm et al., 2003).

### **1.5.3. La porosité du sol et la circulation de l'eau dans le sol**

L'augmentation de la densité apparente du sol dans les anciennes couches labourées fait que la porosité totale du sol est globalement réduite dans les systèmes de conservation. La forme, la taille et la continuité de l'espace poral changent également selon le type de travail du sol appliqué.

L'effet des techniques de travail du sol sur la micro-porosié ( $DEC < 0,1\mu\text{m}$ ) et la méso-porosié ( $0,1\mu\text{m} < DEC < 30\mu\text{m}$ ;) du sol (importante pour le stockage de l'eau et siège des activités microbiennes) varie selon le temps d'application et la profondeur de travail de l'outil considéré.

Les résultats de différentes expérimentations sont contradictoires et il est donc difficile de généraliser l'effet de la réduction du travail du sol sur ces classes de pores (Kay et VandenBygaart, 2002). Par contre, la macroporosié d'origine biologique est généralement augmentée dans les sols non labourés par rapport aux sols labourés. L'absence de

fragmentation et d'homogénéisation du sol due à l'action de la charrue favorise le développement de macropores d'origine biologique (racines, galeries de vers de terre), plus stables, continus et plus connectés les uns aux autres (Kay et Vanden Bygaart, 2002).

En favorisant la macroporosité biologique, les systèmes de conservation améliorent ainsi la conductivité hydraulique du sol en conditions saturées et la capacité d'infiltration tandis que le labour homogénéise et régularise l'infiltration de l'eau (Huwe, 2003).

Ces modifications de l'espace poral du sol ont des répercussions importantes sur la rétention en eau du sol et sur son réchauffement. La présence d'un mulch en surface dans les systèmes de conservation limite l'évaporation et augmente la rétention en eau dans les premiers centimètres de sol (Blanco-Canqui et Lal, 2007;

Selon Huwe, 2003; Lal et al., 2007, les sols non travaillés présentent cependant une structure plus compacte et une porosité totale souvent plus faible que celle des sols labourés ou travaillés avec un outil à dent. Par conséquent la proportion de pores saturés en eau (% WFPS : Water Filled Pore Space) est souvent plus grande dans les systèmes non travaillés (Franzluebbers et al., 1995). Cette proportion dépend de la porosité totale du sol, de la taille des pores et de la teneur en eau du sol et détermine ainsi l'aération du profil de sol (Oorts, 2006). Le risque d'anaérobiose semble donc être plus élevé dans les systèmes non travaillés par rapport aux systèmes de travail du sol conventionnel (Liu et al., 2007; Pekrun et al., 2003). Ainsi, les transferts de chaleur et le réchauffement des sols non travaillés ont tendance à être plus lents au printemps à cause de la présence d'un mulch en surface (effet albédo en général supérieur pour les sols non labourés) et de leur structure plus dense et/ou plus humide (Baker et al., 2007; Balesdent et al., 2000; Germon et al., 1994).

La présence d'un mulch en surface dans les systèmes de conservation augmente également la stabilité structurale des sols (Balesdent et al., 2000; Kandeler et Murer, 1993), protège les sols des fortes pluies et limite les phénomènes de battance et les risques d'érosion hydrique (Blanco-Canqui et Lal, 2007; Köller, 2003; Rasmussen, 1999; Tebrügge et Düring, 1999). Par ailleurs, le mulch en surface et la structure du sol plus rigide dans les systèmes de conservation limitent l'incidence du passage des engins et du tassement qui en résulte, les sols étant plus portants (Tebrügge et Düring, 1999).

## **1.6. Travail du sol et matière organique**

---

Les effets du travail du sol sur la dynamique de la matière organique du sol ont été étudiés depuis longtemps pour leurs conséquences sur les propriétés physiques, érosion et fertilité. Plus récemment, les préoccupations en matière d'émissions de gaz à effet de serre ont conduit les scientifiques à examiner le potentiel des sols à stocker du carbone organique, en particulier sous l'influence des pratiques culturales.

En effet, il existe une forte interaction entre les pratiques de travail du sol et la dynamique des matières organiques du sol. Le travail du sol ou le non travail détermine les modalités d'incorporation et de décomposition des matières organiques fraîches retournant au sol. Ces matières organiques en décomposition modifient en retour les propriétés physiques du sol et en particulier sa structure.

On ne peut donc dissocier aisément les effets du travail du sol sur la décomposition des matières organiques fraîches et les effets affectant la structure du sol et ses propriétés. En effet le travail du sol détermine plusieurs facteurs parmi lesquels nous citerons :

- La localisation initiale des résidus de récolte, le travail du sol influence par conséquent la quantité de résidus laissés à la surface du sol.
- La quantité de matière organique fraîche incorporée, la profondeur d'incorporation et la distribution spatiale des résidus.

Indirectement, la localisation initiale détermine donc, les conditions physiques (température, humidité) auxquelles les résidus sont soumis lors de leur décomposition et donc la vitesse de décomposition, d'où l'importance des types de labours à réaliser.

Selon Recous S (1993) et Laurent F (1995), l'effet majeur du changement de pratiques de travail du sol est principalement une modification dans la localisation du carbone organique, avec un gradient très prononcé dans les situations sans travail du sol. Ce gradient très fort est observé dans les huit premiers centimètres, alors qu'il n'y a pas de différences observées en dessous de 15 cm. En effet, dans le traitement "semi direct", plus de 50% du carbone récent se trouve dans les 4 premiers centimètres et seulement 20% se trouvent en dessous de 25 cm, alors que le carbone est réparti de manière homogène dans la couche travaillée pour le traitement "labour".

Tenant compte de l'un des principaux objectifs du labour, à savoir le retournement de la bande de terre et donc de l'incorporation des résidus végétaux dans le sol, la charrue à socs est l'outil aratoire à privilégier lors des techniques de préparation du sol pour un enrichissement du sol en matière organique en profondeur.

En dépit de l'importance du labour et tous les avantages qu'il offre, il présente néanmoins quelques inconvénients qu'on va citer dans la partie qui suit :

### **1.7. Les problèmes liés au labour :**

---

Lorsqu'un agriculteur laboure la terre pour se préparer à planter ou travailler le sol pour lutter contre les mauvaises herbes, le sol devient plus vulnérable à l'érosion. Parfois, la structure du sol est détruite. Au lieu du labour habituel, les agriculteurs adeptes de l'agriculture de conservation visent à perturber le moins possible le sol en utilisant des méthodes de travail réduit du sol comme la culture sans labour, le scarifiage ou les fosses d'ensemencement. Au début, on assistera peut être à une pression accrue exercée par les mauvaises herbes. Mais au fil du temps et en utilisant des pratiques complémentaires, comme les plantes abris et les rotations de cultures, les agriculteurs qui pratiquent le travail réduit du sol constatent souvent que le sol devient plus fertile et peut retenir d'avantage d'eau, et que les rendements des cultures se stabilisent et finissent par augmenter.

Souvent on reproche au labour d'être :

- Coûteux en matériel et en main d'œuvre
- Responsable de l'Accélération des pertes de sol et d'humidité
- Responsable de la destruction de la structure du sol
- Responsable de la présence des couches compactées
- De nuire à la flore et à la faune.

***C'est dans ce contexte et vu ces inconvénients que les notions de TSL (travail sans labour) et semis direct sont apparus, Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO, (2005), les méthodes de travail du sol utilisées de nos jours par la plupart des agriculteurs sont une cause importante d'érosion des sols et de désertification sur de nombreuses terres agricoles.***

---

**Par conséquent, les agriculteurs et les chercheurs ont collaboré pour trouver d'autres substitutions au travail traditionnel du sol par des moyens de cultiver qui perturbent moins le sol et réduisent donc l'érosion. L'agriculture de conservation est une solution de rechange au travail traditionnel du sol qui s'efforce d'inverser le processus de dégradation du sol.**

Les principales pratiques utilisées dans l'agriculture de conservation sont :

- le travail réduit du sol ou la culture sans labour;
- l'établissement d'un couvert permanent sur le sol;
- les rotations de cultures et les combinaisons de cultures.

### 1.8. Présentation des techniques sans labours :

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 non labour strict, en passant par le pseudo labour, le décompactage ou encore les TCS (techniques culturales simplifiées).

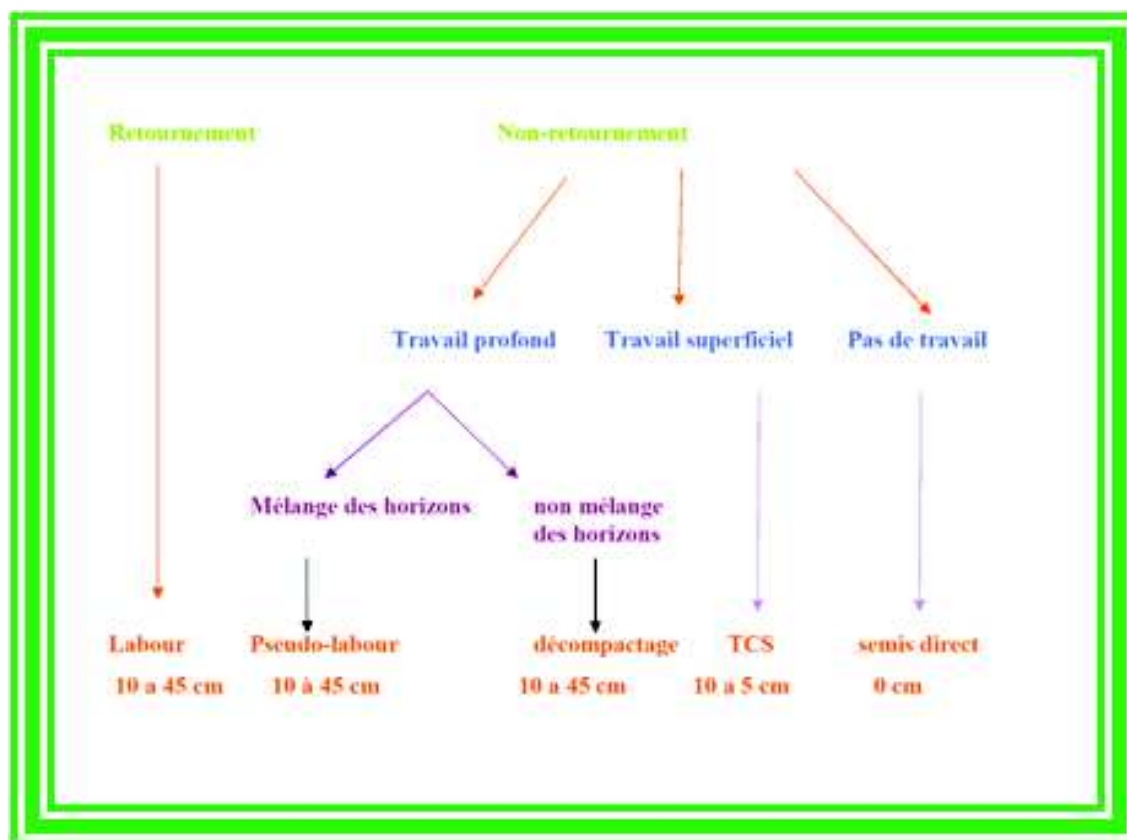


Figure 1 : les différentes modalités de travail du sol

Source : F Vallee (2005)

Les Techniques Culturales Simplifiées sont des techniques de travail superficiel du sol. Elles évitent la dilution de la matière organique sur tout l'horizon de labour en la laissant en surface. En effet les outils utilisés ne travaillent le sol qu'à faible profondeur (moins de

10 cm). Ceci permet de déchaumer, préparer le lit de semences et désherber mécaniquement tout en conservant au maximum la structure du sol. (J. F. VALLEE, 2005).

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, aussi appelé agriculture de conservation. Dans ce cas là, les semis sont réalisés directement dans les chaumes de la culture précédente ou celles de l'inter culture. Nous allons nous intéresser à ce système qui est le non labour ou le semis direct.

### 1.8.1. Système du non labour

Ceci est très lié au paillage, ce concept assume que toutes les opérations de travail du sol, y compris la préparation du lit de semences et les mesures de désherbage mécaniques, sont éliminées. C'est seulement en adhérant strictement à ce principe que l'action positive de la faune du sol sera totalement exploitée. Ce système suppose une forte dépendance aux herbicides chimiques pour le désherbage et l'absence de toute opération d'ameublissement du sol. (Hoogmoed, 1986).

L'activité biologique assez développée près de la surface du sol, comprenant une concentration des racines de la culture, entraîne généralement une amélioration de l'infiltration. Toutefois, la densité du sous-sol ou horizon B entraînera un équilibre entre les forces compressives (passage, etc.) et les forces ameublissantes (gonflement et rétrécissement, racines). Dans le cas de sols à structure inerte comme beaucoup de sols limoneux tropicaux, la résistance mécanique devient rapidement très élevée pour le développement racinaire. En conséquence, le 'non travail du sol' ne semble pas être une solution pour gérer les sols pris en masse, particulièrement dans les régions semi-arides (Willcocks, 1984; Lal, 1985). Le 'non travail du sol' peut être appliqué avec succès sur des sols encroûtés. Le comportement favorable sous le 'non travail du sol' peut être attribué à la bonne structure du sol dans la zone racinaire. Dans l'Afrique de l'Ouest humide, le 'non travail du sol' pourrait assurer un système agricole viable sur Alfisols (Lal, 1983).

D'après ce qu'on a étudié précédemment sur les problèmes liés au labour et après avoir étudié les nouvelles techniques appelées techniques sans labour on pourra déduire que « Passer au non labour ne s'improvise pas »

A partir de la, on pourra poser les problématiques suivantes

- Quels avantages peut-on trouver à passer d'une conduite des parcelles avec labour à des techniques sans labour (TSL) ? Analyse sur plusieurs paramètres.

Ou d'une autre manière :

- Quels sont les inconvénients et les problèmes liés au semis direct ?

Pour répondre à ces deux questions, l'analyse doit porter sur plusieurs paramètres :

D'après Labreuche (2003), Le temps de travail peut être diminué avec le non labour mais ce n'est pas systématique, Le gain de travail permis par les TSL est plus flagrant sur les parcelles à sols argileux que sur les terres légères. L'adoption du non labour permet d'écarter les temps de travaux. Plutôt que de connaître des périodes de pointe au moment des semis où se cumulent labours, herbes rotatives et semis à l'automne, le non labour permet d'anticiper la préparation du sol au mois d'août ou septembre.

Autre argument mis en avant en faveur des TSL : la diminution des charges de mécanisation. « Le non labour peut permettre des économies mais à condition de maîtriser le capital investi. Des agriculteurs se sont retrouvés avec une augmentation de ce capital,

souvent car l'investissement en équipement spécifique était réalisé pour une surface d'exploitation modeste. Il faut donc être vigilant sur la surface d'amortissement » (Labreuche, 2003). De même, l'agriculteur se doit de bien prendre en compte le coût du matériel. Prévoit-il deux parcs de matériel : l'un pour le labour, l'autre pour les TSL ? Va-t-il investir dans un décompacteur pour remplacer le labour dans la restructuration du sol ? Dans ce cas, le coût du matériel n'est pas avantageux. Un décompactage plus un déchaumage revient à un labour en termes de coût. »

Concernant le sol, plusieurs chercheurs avancent que les TSL favorisent la diminution de battance et meilleure portance du sol. Labreuche, (2003) confirme cette hypothèse, avec les TSL on ne remonte pas les cailloux ; on crée une meilleure portance des sols ; les organismes du sol (lombrics.) sont mieux préservés ; la matière organique est concentrée en surface ce qui a pour effet de diminuer la battance des sols. Ce critère peut agir aussi en diminuant l'érosion et en augmentant le pouvoir de rétention de l'eau du sol. Mais, signale Labreuche (2003), que l'effet sur l'érosion est net au printemps-été, pas en automne-hiver. Le non labour peut présenter des inconvénients en générant moins de porosité du sol derrière des chantiers de récolte d'automne notamment (maïs, betterave), d'où des problèmes d'infiltration d'eau, ce n'est pas systématique mais il convient d'être vigilant.

C'est dans ce cas que le décompacteur entrera en jeu pour la remise en état du terrain. En non-labour, les effets de tassement de sol peuvent s'accumuler d'une année sur l'autre. Et ceci est d'autant plus vrai que les sols sont pauvres en argile. Ce sont avant tout les rotations maïs-maïs qui posent problème ou bien certains sols limono-sableux qui sont très sensibles à la reprise en masse. Le décompactage est envisageable ponctuellement lorsque le profil cultural montre un problème. Il ne doit surtout pas être considéré comme le remplacement du labour, sous peine de résultats économiques défavorables.

Autres problèmes liés au semis direct on pourra citer le problème de la fusariose et les adventices, le non labour est susceptible d'amplifier certains problèmes de parasitisme. Derrière un précédent maïs ou sorgho, il augmente le risque d'infestation en fusariose sur céréales. Associé à des rotations courtes, il amplifie les problèmes de désherbage. Ces facteurs ne sont pas réducteurs pour les TSL. Maladies, mauvaises herbes peuvent être très bien maîtrisées en jouant sur plusieurs paramètres culturaux : rotations, traitements, interculture.

**« Les limaces ne sont pas favorisées par le non labour. Si le labour juste avant le semis perturbe fortement les limaces, un simple déchaumage a également une action de perturbation » (Labreuche, 2003).**

Par ailleurs, il a été déjà constaté que sur des sols argileux ou argilo-calcaires, il y avait moins de limaces en situation de TSL qu'en labour. Ce n'est pas incohérent car le labour a tendance à produire une structure grossière avec des mottes et des creux dans le sol favorables aux limaces.

## **1.9. Conclusion**

---

D'après ce chapitre on peut conclure que l'agriculteur, en faisant subir au sol momentanément l'action des outils de travail du sol, vise plusieurs objectifs: l'enfouissement des débris de cultures, l'ameublissement de la couche arable, la préparation du lit de semence, la maîtrise des mauvaises herbes et des maladies, l'incorporation des amendements et des fertilisants et la correction de certaines contraintes physiques ou chimiques dans le profil.



Le système de travail simplifié du sol comprend un gradient continu allant de la réduction du nombre de passage d'outils aratoires jusqu'à l'élimination complète de toute action mécanique sur le sol. La perturbation ou la manipulation du sol doit respecter la présence d'un mulch d'au moins 30% de sol couvert et l'élimination de toute action de retournement ou mixage des horizons. Il s'agit surtout de l'utilisation d'outils à dents ou à lames. La situation extrême est le zéro-labour ou semis direct.

Que ce soit en conventionnel ou en semis direct, ce sont les mêmes facteurs qui favorisent la productivité : avoir un sol en santé, faire des rotations de culture, posséder de la machinerie bien adaptée et en limiter la circulation au minimum, gérer les résidus de culture et contrôler les mauvaises herbes de façon efficace.

On pourra donc conclure que le fait d'arrêter de labourer ne permet pas de faire forcément des économies. Le choix répond bien à la recherche de réduction ou d'étalement du temps de travail consécutif à l'agrandissement d'une exploitation. « On ne peut pas dire non plus que la solution environnementale, c'est le non labour, La technique peut amener à consommer plus de produits phytosanitaires. » ( Jérôme Labreuche, 2003).

Le choix du non labour se réfléchira au cas par cas et incite au raisonnement de ses pratiques. « Quand ça devient compliqué, je sors la charrue » (Lepève, 2010).

Le travail du sol a pour rôle essentiel d'obtenir un état structural nécessaire à une bonne germination et un développement racinaire normal indispensable pour l'alimentation hydrique et minérale des cultures.

C'est dans ce contexte qu'on va s'intéresser dans le prochain chapitre à l'étude des racines pour mieux comprendre les interactions sol-racine et les incidences sur la nutrition minérale.

## **Chapitre 2 : Effet de l'état structural du sol sur le développement racinaire**

### **2.1. Introduction**

---

Les caractéristiques telles que la croissance, la distribution et le fonctionnement des racines sont des aspects importants du développement de la plante. Un sol compacté provoque un accroissement de la pression sur les parois cellulaires, ce qui réduit la vitesse d'élongation racinaire et accroît leur diamètre. La plante peut répondre en réduisant le potentiel osmotique dans les racines. De cette manière, l'élongation est maintenue à condition que la compaction ne soit pas trop forte (Demissy et Farque, 1997).

Outre l'effet de la compaction, certains chercheurs pensent que la réduction de l'élongation pourrait également être provoquée par un messenger chimique synthétisé dans les racines (Tardieu, 1994). La diminution de la croissance des racines rend la plante plus sensible à la sécheresse : l'impact d'un déficit hydrique, même superficiel, est à la fois plus rapide et plus fort.

La compaction modifie également la transpiration des racines. L'augmentation de la respiration se traduit ainsi par des besoins accrus en oxygène.

Plusieurs aspects pouvant affecté le développement des racines seront abordés dans le chapitre qui suit, 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

A travers ces constats nous remarquons donc que le développement des racines est fonction de l'état du sol, d'où l'intérêt d'un choix convenable de la technique de préparation du sol, méthode classique avec labour ou techniques culturales simplifiées.

## **2.2. État du système racinaire et son effet sur le développement de la plante**

---

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).

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.

Analysons donc les différents paramètres physico- mécaniques à travers lesquels, le travail du sol pourrait atteindre le système racinaire.

## **2.3. 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.

### **2.3.1. 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  $\mu$ ) et un sol à texture grossière (5% d'argile et 41% d'éléments supérieurs à 200  $\mu$ ), l'un et l'autre à plusieurs niveaux de richesse en éléments nutritifs.

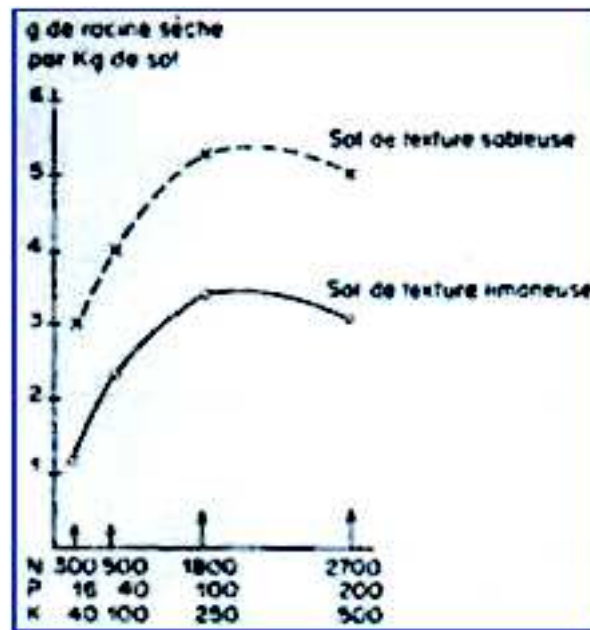


Figure 2 : Production comparative de matière sèche de racines selon la texture et le pouvoir alimentaire du sol (cas de la fléole).

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 enracinements 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 2: Caractérisation de l'enracinement d'un plan de blé au tallage dans trois sols de texture différente (unité de mesure en mm).

**ANALYSE DU COMPORTEMENT DU SOL SOUS L'ACTION DE DEUX TECHNIQUES DE MISE EN PLACE D'UNE CULTURE DE CEREALE (*Triticum durum*)**

Interprétation	Argile (terrefort) (1)	Limon (boulbène) (2)	Sable
Racines séminales et adventives : Nombre..... Longueur moyenne..... Longueur totale..... Diamètre moyen..... Surface totale en mm <sup>2</sup> .....	8 42 340 0.48 5108	127 1021 0.48 1500	10 129 1290 0.34 1380
Racines secondaires Nombre..... Longueur moyenne..... Longueur totale..... Diamètre moyen..... Surface totale en mm <sup>2</sup> .....	181 10.2 960 0.30 604	12.8 7200 0.22 5004	17 16000 0.20 10080
Racines tertiaires Nombre..... Longueur moyenne..... Longueur totale..... Diamètre moyen..... Surface totale en mm <sup>2</sup> .....	697 1.74 1220 0.24 965	1.9 2100 0.17 1100	1.49 477 0.12 176
Enracinement Longueur totale..... Surface totale en mm <sup>2</sup> .....	2520 2329	10300 7600	17466 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).

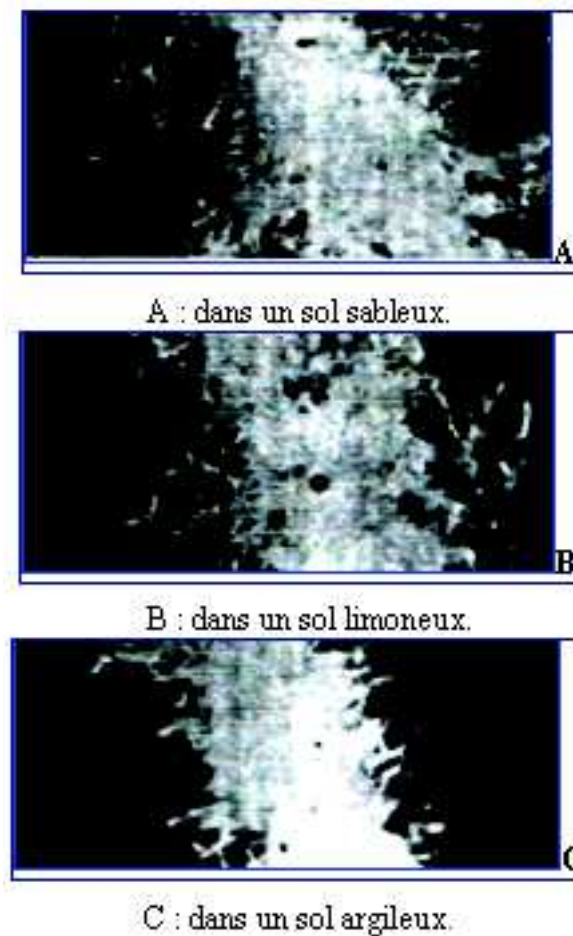


Figure 3 : Influence de la texture du sol sur la morphologie de racines de blé à la levée

Source: Callot et al (1998)

### 2.3.2. 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.

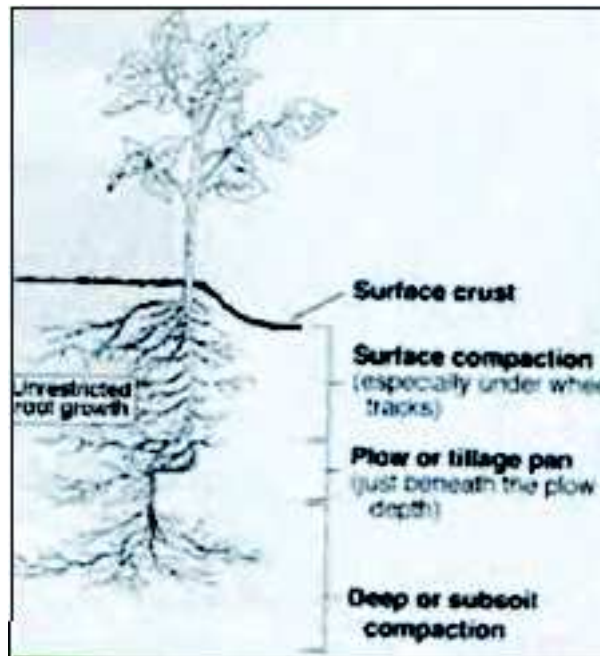
**2.3.3. Effet de la résistance mécanique à la pénétration**

Cet effet de la porosité, sur le développement des racines, est dû essentiellement à deux propriétés qui en découlent : La résistance mécanique à la pénétration et l'aération du milieu, dont l'influence respective a été longtemps étudiée. Pour les échantillons de sol de même résistance mécanique mesurée à l'aide de pénétromètre, les diverses valeurs de porosité entraînent des différences de longueur moyenne assez modeste; dans le sol ayant la résistance mécanique la plus élevée (2,7 daN/cm<sup>2</sup>), la plus grande longueur moyenne correspond à la porosité la plus faible. Par contre, la différence de résistance mécanique conduit à un écart nettement plus important entre les longueurs moyennes et les diamètres moyens des racines.

**Tableau 3: longueur moyenne des racines d'orge pour deux valeurs de résistance mécanique à la pénétration.**

Résistance (g/cm <sup>2</sup> )	Porosité (%)	Humidité (%)	Longueur moyenne des racines (cm)
700 (+/- 100)	45 42.5 40	9 12 15	6.53 6.32 5.63 La moyenne : 6.16
2700 (+/- 150)	37.5 35 32.5	9 11 13	3.00 3.17 3.32 La moyenne : 3.16

Source : Callot Et Al, (1988)



*Figure 4 : réduction du développement des racines sous l'effet des précipitations sur la droite (en surface), du travail du sol (dalle de Labour) et des pneumatiques d'engins; Sur la gauche: développement racinaire non restreint.*

Source : Callot Et Al, (1988)

Dans l'exemple cité plus haut, l'influence de la résistance mécanique sur l'enracinement est très nettement prépondérante, par rapport à celle de l'aération et de l'humidité; la porosité libre pour l'air est de 10% dans le milieu à 32,5 % de porosité, avec une humidité volumique de 22,5 %.

#### 2.3.4. 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)

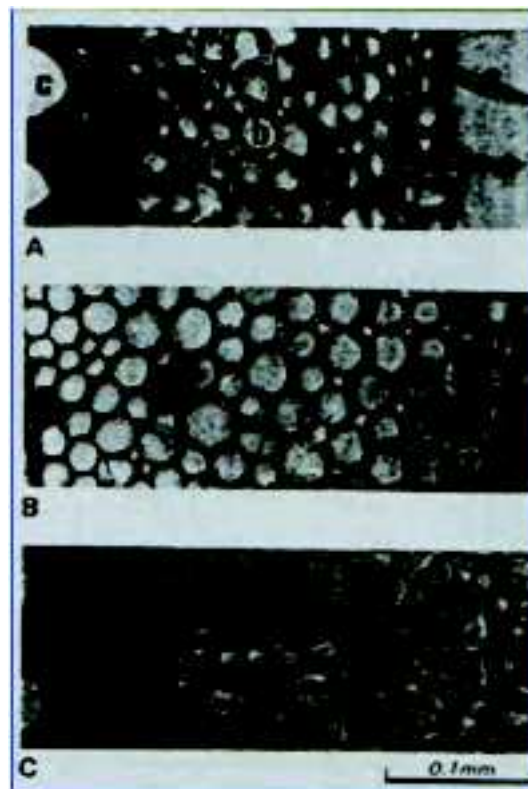


Figure 5 : Influence de l'humidité du sol sur l'histomorphologie des racines de maïs coupe transversale dans le parenchyme cortical de racines de maïs,

Source : CALLOT (1988)

- 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.

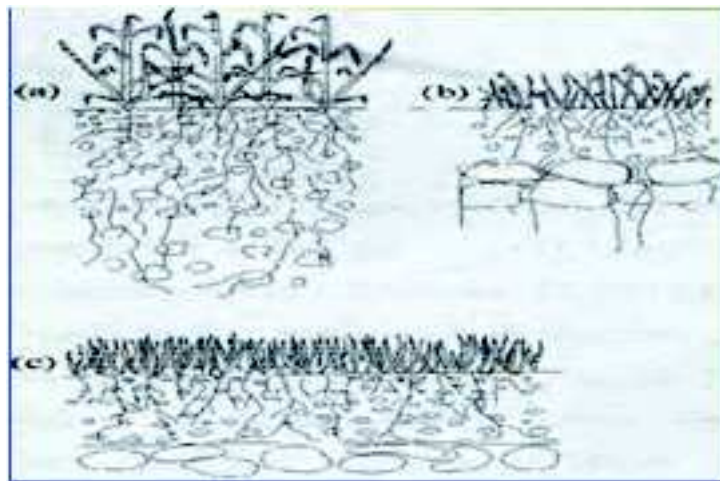
Remarquons que le nombre de rangées de cellules du parenchyme reste semblable dans les trois cas (11 à 13). Les dimensions des cellules sont cependant légèrement différentes. Au niveau de (B) milieu bien arrosé les cellules ont une forme régulière ce qui n'est pas le

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

### **2.3.5. 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 6 : 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 4 : 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 <sup>2</sup> )	RDT en grains q/ha
1	0 – 25 25 – 50 50 – 75	10.0 41.6 18.87	18.7 43.7	44.00 44.00	35.31	1.100 0.070 10.20	11
2	0 – 20 20 – 45 45 - 75	22.4 43.7 23.42	15.5 28.0	20.00 36.00	36.00	0.600 0.100 0.070	7

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.

### 2.3.6. 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'enfoncent 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.

## **2.4. La pression des racines sur le sol**

---

La pression des racines sur le sol est aussi étroitement liée à la texture, à l'humidité et à l'état de compaction du sol. C'est à partir de ce principe que la résistance pénétrométrique est utilisée pour comprendre le développement des racines. Les paramètres étudiés par la résistance pénétrométrique sont les contraintes de cisaillement et de compression ainsi que la déformation du sol

Des expériences montrent que le sol avec racines donne une courbe, contrainte de cisaillement – déformation, ayant une contrainte de cisaillement au pic plus élevée à des déformations en cisaillement plus grandes que le sol dénudé. La capacité du sol avec racines de résister à de grandes déformations en cisaillement à cause de l'interaction sol - racines peut être sous-estimée.

La pénétration des racines dans un sol pauvre et/ou trop sec et/ou trop humide ralentit la croissance alors qu'un sol riche et/ou drainé convenablement la favorise. Sur le terrain, la résistance à la pénétration des racines est difficile à quantifier.

Selon Souty (1987), dans ses travaux relatifs à l'Aspect mécanique de la croissance des racines, explique que dans un milieu hétérogène, une racine peut rencontrer des zones de résistance différente à la pénétration qui font obstacle à son enfoncement et à son développement. En laboratoire, la modélisation d'un tel obstacle par une lamelle d'acier sur laquelle est collée une jauge extensométrique a permis la détermination et ce simultanément de la force et de la vitesse de croissance de la racine ; de plus, l'évolution des structures cellulaires méristématiques a été suivie en observant des coupes cytologiques. Les résultats de ces essais ont montré que la force qu'exerce la racine sur la lame est importante elle est de l'ordre de 250 kPa.

## **2.5. 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.

Afin de choisir correctement la forme des outils aratoires, il est donc nécessaire de rappeler et de comprendre le mode d'action des différents outils susceptibles d'être utilisés. Pour cela nous nous limiterons dans ce qui suit à une brève description du mode d'action des principales pièces travaillantes des outils aratoires couramment utilisés.

## **Chapitre 3 : Les modes d'actions des différentes pièces travaillantes**

### **3.1. Introduction**

---

D'une façon générale, l'objectif principal des opérations de travail du sol est la transformation d'un état initial du sol en un autre état final favorable au développement de la culture à mettre en place.

Chaque outil travaille le sol en combinant plusieurs actions mécaniques élémentaires dont les résultats sont très dépendants de l'humidité, au sein d'un sol de texture donnée et d'un état structural initial donné. Chaque pièce travaillante a son mode d'action qui diffère selon le type de travail à réaliser. Nous verrons principalement, la charrue à socs, un outil à disque en l'occurrence le cover-crop et les outils à dents telles que le cultivateur à dents et le chisel dont nous étudieront leurs modes d'action ainsi qu'à leurs effets sur les propriétés physiques du sol.

L'intérêt de cette partie est que la compréhension du mode d'action des différentes formes de pièces travaillantes est nécessaire pour le choix de l'outil aratoire à choisir en fonction des exigences de la plante à mettre en place. En effet chaque culture a un système racinaire propre avec ses exigences et ceux de la culture.

### **3.2. Mode d'action d'un corps de charrue à socs sur le sol**

---

En raison de la géométrie complexe de sa surface active, la charrue à socs, appelée aussi charrue à versoirs, par son mode d'action, excelle dans les sols lourds et humides.

La bande de terre est découpée verticalement par le coutre et horizontalement par le soc, ce qui, en consistance semi plastique, entraîne un lissage important du soc en fond de raie. Elle est ensuite soulevée par le soc et la partie antérieure du versoir. Le long de la partie postérieure du versoir, elle subit une rotation et une translation latérale pour arriver en appui sur la bande précédente. Par ailleurs, on peut observer :

- Une adhérence de la terre le long du versoir responsable de bourrage et de mauvais retournement de la bande de labour à la consistance du sol semi plastique.
- Une retombée de terre en fond de raie si la profondeur est excessive par rapport à la hauteur du versoir.
- Un frottement le long du versoir responsable de la formation de terre fine à la consistance friable. A la consistance semi plastique, il produit des lissages, inconvénient principal des labours quand l'humidité du sol n'est pas respectée, c'est-à-dire à sa valeur, capacité au champ.

Les charrues récentes dont la largeur du sillon est réglable jusqu'à plus de 50 cm peuvent effectuer un labour beaucoup trop plat. Les débris végétaux sont alors emprisonnés au fond du sillon et se décomposent mal en raison du manque d'oxygène. Pour éviter ce problème, il faut que la largeur du sillon fasse tout au plus le double de la profondeur de travail. Autrement dit, une largeur de sillon égale ou inférieure à 40 cm doit correspondre à un labour de 20 cm de profondeur, de façon à obtenir un labour dressé mieux aéré. (Amara, 1983).

De manière générale, les techniques de préparation du sol et plus particulièrement les labours, consistent donc à réduire la cohésion de la couche arable et à modifier sa porosité.

Pour atteindre ces deux objectifs, une porosité ainsi qu'une cohésion données, le corps de charrue, par sa forme, agit de différentes façons suivant trois phases successives qui sont respectivement :

- Phase de cisaillement

Cette première phase, réalisée par le soc et le coutre, est celle qui délimite la profondeur et la largeur de travail du labour. Le rapport de ces deux paramètres définit l'intensité du retournement de la bande de terre. Le cisaillement du sol est aussi la phase qui exige le plus d'énergie. (Amara, 2007)

- Phase de soulèvement et de déplacement de la bande de terre

Une fois la bande de terre découpée, elle est soulevée par l'avancement du corps. La trajectoire de la bande de terre est définie par la forme de la surface active du corps de charrue. (Amara, 2007)

- Phase de retournement de la bande de terre

C'est la phase la plus importante du labour dont l'un des premiers objectifs, est le retournement de la bande de terre. Le versoir agit après le coutre et le soc, il a pour rôle de retourner la bande de terre sur elle-même et de la rejeter latéralement, après l'avoir retournée de telle façon que les résidus végétaux qui se trouvaient à la surface du sol soient, après le passage de la charrue, bien répartis sur la profondeur du labour.

On comprend sans peine que, pour obtenir le retournement, le versoir ne doit pas trouver la bande de terre complètement découpée à l'avance par les deux premières pièces (coutre et soc) ; s'il en était autrement, le versoir, quelque fut sa forme, aurait uniquement pour rôle, de déplacer latéralement, sans retourner, la bande de terre. (Amara, 2007)

### **3.2.1. Profil obtenu**

Les profils ci-dessous ne tiennent compte que de l'effet du type de versoir. Les profils varient beaucoup avec la consistance du sol et la vitesse d'avancement.

Les profils obtenus varient beaucoup selon le type du versoir. L'emploi du versoir universel se justifie par l'état du profil qu'il produit (terre fine en surface assurant une bonne levée, base motteuse favorisant l'infiltration de l'eau, l'aération et la croissance des racines).

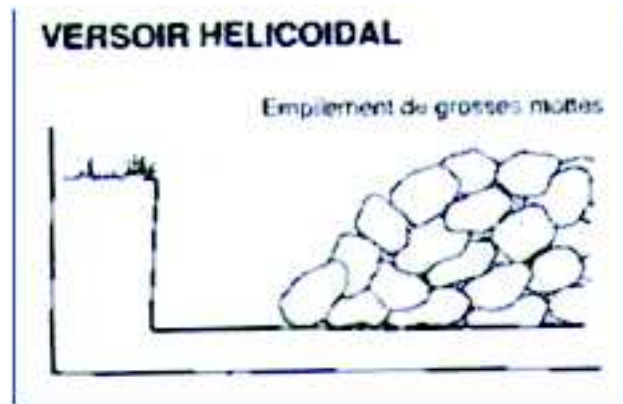


Figure 7 : profil obtenu pour le versoir hélicoïdal.

Source : Barthelemy (1994)

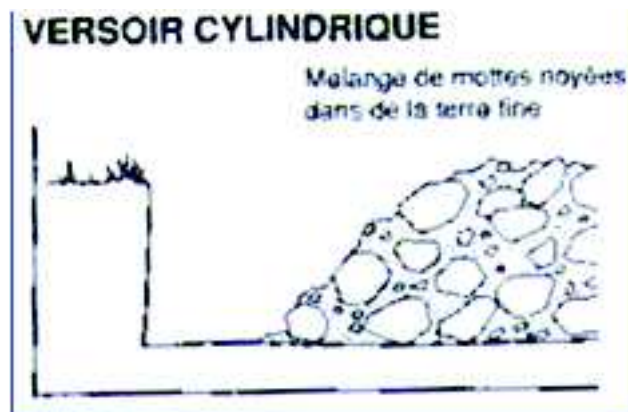


Figure 8 : profil obtenu pour le versoir cylindrique.

Source : Barthelemy (1994)

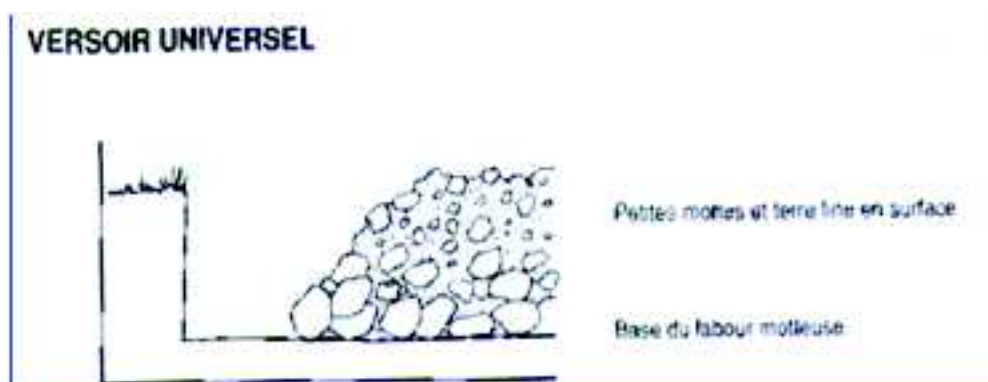


Figure 9 : profil obtenu pour le versoir universel.

Source : Barthelemy (1994)

Selon Rhoton *et al.* (2002), Un des principaux reproches qui est fait au labour concerne la dilution de la matière organique sur l'épaisseur de sol travaillé. Cette dilution a pour

conséquence de diminuer la teneur en matière organique de la surface (MO). Comme nous l'avons précédemment, l'augmentation de la teneur en MO du sol a été un des premiers objectifs de l'utilisation du nonlabour. De nombreux résultats confirment que cet objectif est fréquemment atteint (tableau suivant). Cependant, il s'agit d'un effet qui ne s'observe que sur des durées longues (Tebrugge et During, 1999) et qui demeure réversible puisque un seul passage de charrue peut entraîner une diminution importante du taux de MO.

Référence	Période étudiée	Rotations	Texture	Conventionnel	TSL	SD
(Labrousche <i>et al.</i> , 2005)	35 ans	4 types (blé-mais)	LA	2.0	2.7	3.1
(Makhboudi <i>et al.</i> , 1993)	28 ans	Mais	LL	1.0	1.5	2.3
(Makhboudi <i>et al.</i> , 1993)	28 ans	Mais	LL	0.9	1.2	2.7
(Arshad <i>et al.</i> , 1999)	15 ans	Orge	LL	3.3		4.4
(Arshad <i>et al.</i> , 1999)	15 ans	Orge	LS	2.2		2.4
(Rhoton <i>et al.</i> , 2002)	8 ans	Mais	LL	1.9		3.7
(Tebrugge et During, 1999)	5 ans	Mais-céréales	LA	0.7		1.1
Armand	3 ans	Mais	LL	1.56	2.2	

Tableau 5: Différences du taux de MO en surface (%) selon les pratiques (classées par ancienneté)

Source : Rhoton et Al. (2002)

### 3.3. Mode d'action d'un outil à disques sur le sol (cas du cover – crop)

Le Cover-Crop ou le pulvériseur offset comporte deux trains de disques placés l'un derrière l'autre en V ouverte sur le côté, selon un angle de 30° à 50°. L'utilisation du cover crop a pour objectif de compléter le travail laissé par la charrue à socs ou à disques, cette étape de la préparation du sol est qualifiée de pseudo-labours.

L'action du disque dans une terre ressuyée provoque :

- **L'ameublissement du sol** : ce qui se fait par le sectionnement de mottes de grandes dimensions laissées par les labours ; ce phénomène rend les pulvérisateurs très efficaces.
- **Le nivellement du sol** : les disques retournent partiellement la terre qui se déplace à leurs contacts. Ce phénomène de déplacement associé à la pénétration provoque un très bon nivellement.
- **L'enfouissement** : le cover - crop enfuit et sectionne les débris végétaux laissés par le labour, il permet aussi la régularité de l'incorporation des résidus végétaux grossièrement enfouis par les labours.
- **Le tassement** : les pulvérisateurs réduisent en grande partie la porosité excessive provoquée par le labour.

#### 3.3.1. Profil obtenu

Les débris végétaux ainsi que les mottes plus affinées sont mélangés sur toute la profondeur du travail.

Le cover-crop convient aux sols sableux très perméables ou il ne fait pas de lissage tout en laissant une quantité de débris végétaux en surface. Cela dit il convient moins bien aux sols à texture moyenne ou lourde en particulier en cas de forte humidité ou il tend à effectuer un lissage du sol.

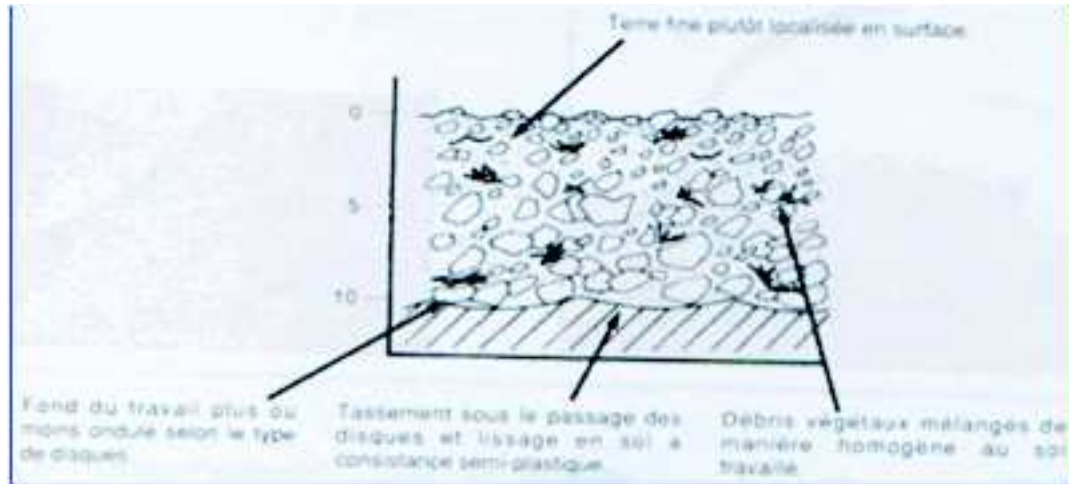


Figure 10 : profil obtenu par passage du cover crop.

Source : Barthelemy (1994)

### 3.4. Mode d'action des outils à dents sur le sol

#### 3.4.1. Le cas des chisels

Le mécanisme d'action du chisel s'exerce de deux façons à la fois :

- Eclatement du sol par la forte pression localisée sur une faible surface des dents, ce qui entraîne pour un sol suffisamment cohérent (donc sec) la formation de lignes de ruptures. Ces lignes sont obliques par rapport à la direction d'avancement sur le plan horizontal. Sur le plan vertical, elle découpe la terre en éléments trapézoïdaux qui remontent et se désagrègent. La densité des lignes de rupture et la désagrégation sont favorisées par les vibrations de la dent (vitesse et profondeur) et le faible angle d'entrure ( $20^\circ$ ) et sa large surface de poussé.
- Recouvrement partiel de la couche superficielle par la couche plus profonde sous l'effet du mouvement de remonté en rotation le long du profil cintré de la dent, à condition que la vitesse soit suffisante (2m/s). ce recouvrement enfouit les débris végétaux superficiels à condition d'avoir un dégagement important.

##### 3.4.1.1. Le profil obtenu

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 dans le cas de sols légers, ou il s'avère souvent préférable à la charrue.

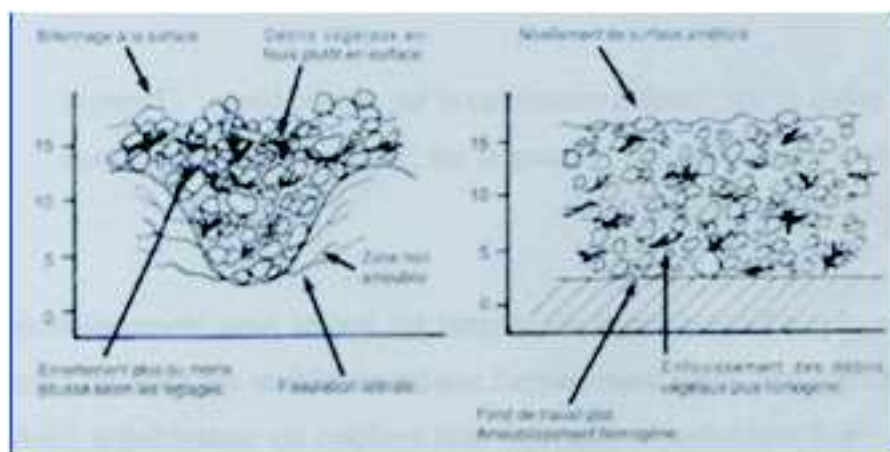


Figure 11 : profil obtenu par chisel

Source : Barthelemy (1994)

- Sur la gauche : après un passage ;
- Sur la droite : après un deuxième passage croise a 30°.

### 3.4.2. Le cas du cultivateur

#### 3.4.2.1. Le profil obtenu

L'ameublissement ainsi réalisé est localise en lignes selon l'emplacement des dents mais le nombre de dents sur un bâti est tel que l'espacement entres deux lignes est réduit a 10 ou 15 cm. Ainsi le cultivateur est employé pour reprendre à profondeur faible ou moyenne un labour pour affiner le sol avant semis.

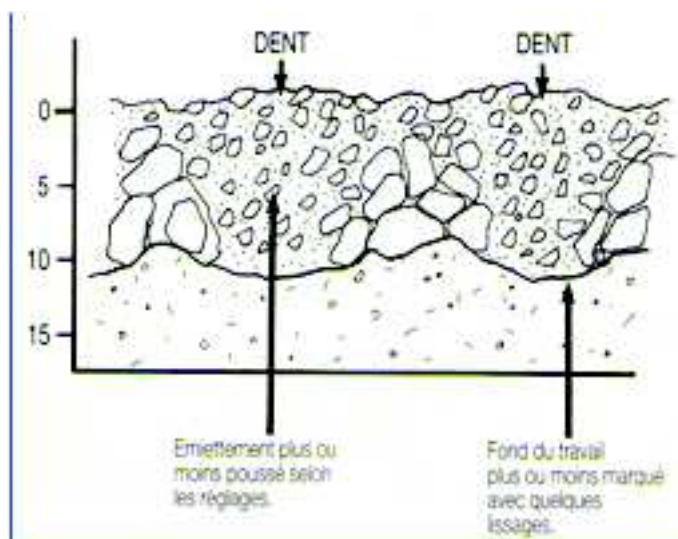


Figure 12 : profil obtenu par le cultivateur à dents à la consistance semi plastique.

Source : Barthelemy (1994)

### 3.5. Comportement du sol sous l'action d'un outil aratoire

---



Sous l'action des éléments du climat, le sol est soumis au cours des saisons à des contraintes qui sont à l'origine de l'évolution de ses propriétés physiques et chimiques. Les conditions hydriques sont particulièrement déterminantes sur le comportement du sol au moment des interventions mécaniques avec les outils aratoires. Elles peuvent en effet entraîner certains phénomènes physiques créant des préjudices naturels.

En agronomie par exemple, le compactage du sol peut entraîner une modification néfaste de sa structure qui se répercutera certainement sur le développement des racines. De même, le retrait du sol, après un dessèchement, peut évoluer jusqu'à sa fissuration et nuire gravement au système racinaire de la plante. Les cultures peuvent ainsi en être irréversiblement affectées.

Le sol étant le milieu d'intervention et d'action des outils aratoires, la maîtrise de ces propriétés physico - mécaniques est plus que nécessaire pour toute étude des outils aratoires. La connaissance du sol, substrat de la culture à mettre en place, est non seulement indispensable à l'étude du développement de la plante mais aussi, à la conception de la forme des surfaces actives des outils aratoires et également au choix de ces dernières.

A cet effet nous présentons dans ce qui suit les différentes caractéristiques du sol agricole, utiles à l'analyse et à la compréhension du mode d'action des outils aratoires et donc à leurs conceptions.

Avant d'analyser le comportement physico - mécanique du sol sous l'action d'un outil aratoire, il est nécessaire de rappeler ses principales propriétés physiques et mécaniques. Ces deux groupes de propriétés influent sur la réaction du sol et de son état après l'action des outils et sur l'intensité de l'effort nécessaire à la modification de l'état initial en un état final recherché.

### **3.5.1. Propriétés physiques**

Les propriétés physiques du sol sont étroitement liées à sa composition granulométrique et aux conditions hydriques. L'argile, le sable et le limon, sont les trois éléments de base pour décrire la texture des sols. Les sols argileux sont souvent qualifiés par les agriculteurs de sols lourds, car très souvent difficiles à travailler. Cette catégorie de sol doit contenir au moins 35 à 40 pour-cent de particules argileuses.

Lorsque le pourcentage de sable est plus important, les sols sont qualifiés de légers car faciles à travailler ; dans le cas où les proportions de sable, d'argile et de limon, sont équivalentes les sols seront dits sols moyens.

En fonction de la composition texturale du sol et de sa teneur en eau, le choix de l'outil à utiliser sera respectivement, la charrue à socs pour les sols lourds et moyens, les outils à dents seront par contre utilisés sur des sols légers.

Plusieurs études sur le sol ont été réalisées par plusieurs chercheurs de différentes spécialités. Les pédologues étudient le sol comme un corps naturel sans se concentrer nécessairement sur son utilisation et sa réaction par rapport aux outils aratoires. Les travaux des pédologues portent souvent sur le côté physicochimique et sont souvent orientés vers la conservation des sols.

Si les pédologues essayent de trouver des moyens pour contrôler le sol de sorte qu'il fournisse les rendements maximums de récolte sans épuiser cette ressource importante, le rôle du spécialiste en machinisme agricole, sera l'analyse du comportement de ce substrat sous l'action des outils aratoires et sous l'action des organes de roulement des moyens

de traction et des machines agricoles tels que les semoirs, les épandeurs d'engrais et de produits de traitement et surtout ceux des machines de récoltes qui ont des effets de compaction souvent préjudiciables sur les propriétés physiques du sol.

Parmi les propriétés physiques du sol, nous citerons principalement celles ayant une influence directe avec le mode d'action de l'outil ou plus exactement avec le comportement de l'outil sur le sol. La première propriété est la structure qui est illustrée par sa porosité initiale elle même définie par les masses volumiques réelle et apparente, la deuxième propriété physique est la teneur en eau.

### **3.5.1.1. La structure du sol**

Selon Monnier et Stengel (1982), au plan physique, le sol est un système poreux, caractère résultant de l'organisation de ses constituants solides à différents niveaux. Ces auteurs distinguent deux niveaux :

Le premier est qualifié de textural : dans ce cas, si l'on considère une masse de terre à une teneur en eau donnée, le volume poral résultant de l'arrangement des constituants élémentaires, est caractéristique du matériau. C'est à dire qu'il est lié à la nature de ces constituants et aux conditions énergétiques de leur mise en place au cours de la pédogenèse, on parle alors de porosité texturale (Fies, 1971). La mesure de la densité texturale se pratique sur échantillons soumis à une histoire hydrique ou, en établissant la courbe de retrait de petits agrégats (Fies et Stengel, 1981).

Le deuxième niveau qualifié de structural, est constitué par les vides ménagés entre les éléments structuraux résultant de l'agrégation des assemblages élémentaires. Ce niveau comprend : les fissures créées par le retrait du matériau lors de sa dessiccation, les galeries d'origine biologique et les défauts d'ajustement entre les éléments structuraux en liaison avec leur forme. On parle alors de porosité structurale.

### **3.5.1.2. Effet des outils aratoires sur la densité apparente du sol**

Dans les nouvelles techniques de préparation du sol, celui-ci a généralement une densité apparente élevée par rapport au sol travaillé avec les méthodes classiques. Les sols ayant une densité apparente élevée possèdent moins de pores ou d'espaces vides ce qui a pour conséquence un mauvais développement du système racinaire et une mauvaise infiltration de l'eau ce qui entraîne une faiblesse de la réserve en eau et s'il y a pente la pluie entrainera une érosion hydrique.

Ces remarques font ressortir l'importance des labours par rapport aux techniques de travail minimum et de semi direct. C'est d'ailleurs pour ces raisons que plusieurs travaux de recherche ont montré l'intérêt de revenir aux travaux profonds, c'est à dire aux méthodes classiques de préparation du sol, au moins tous les trois ans et si la pente est faible l'érosion sera moindre car les labours créent un microrelief.

Nous reproduisons ci-dessous l'effet comparé de quatre techniques de préparation du sol, utilisant respectivement, la charrue à socs, la charrue à disque, le chisel et un semi-direct sur la densité apparente du sol, illustrée par la résistance pénétrométrique (cône Index), travaux réalisés par Scott M. (1998).

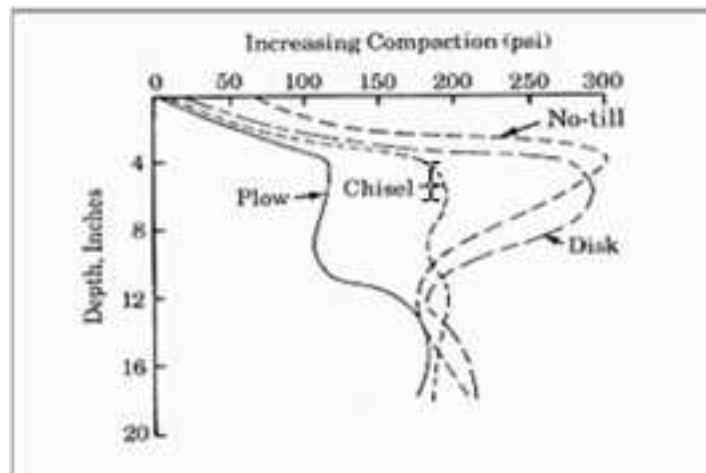


Figure 13 : Evolution de la résistance pénétrométrique sous l'effet des différentes techniques de préparation du sol.

Source : AMARA, 2007

Nous remarquerons sur cette représentation graphique, que la parcelle travaillée avec la charrue à socs, présente une faible résistance à la pénétration du cône, donc moins compacte, par rapport à celles travaillées respectivement avec un chisel, une charrue à disques et la parcelle non travaillée. Ce qui montre l'importance de l'effet des techniques de préparation du sol sur le développement du système racinaire, d'où l'intérêt de prendre des précautions pour l'introduction des nouvelles techniques, notamment le semis direct.

### 3.5.2. Propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques et plus particulièrement la cohésion du sol, elles-mêmes dépendantes des propriétés physiques plus particulièrement celle relative à la teneur en eau, sont les bases fondamentales de la conception des outils aratoires.

En effet le sol par ses caractéristiques mécaniques impose à l'avancement de l'outil une force de réaction dont l'intensité est fonction de la cohésion, elle-même fonction de la texture et de la teneur en eau.

Pour comprendre le mode d'action des outils sur le sol, il est nécessaire de rappeler quelques notions fondamentales de la mécanique des sols. Si pour les matériaux isotropes, les principes de la mécanique des sols sont relativement simples à appliquer, pour les sols agricoles caractérisés par une anisotropie importante, l'application de ces principes n'est pas évidente. C'est la raison principale pour laquelle, la majorité des essais et des travaux de recherche, relatifs à l'effet de l'état du sol sur l'effort de résistance à la traction, se réalisent sur des sols remaniés ou complètement artificiels pour leur conférer une isotropie qu'il faudrait corriger par la suite avec des coefficients relatifs aux caractéristiques même des sols réels.

#### 3.5.2.1. Notions de contraintes et de déformation dans le sol

Faute de pouvoir décrire de façon précise, le comportement d'un volume ou masse de sol, depuis son état initial jusqu'à la rupture, la mécanique des sols s'est inspirée des modes de rupture observés dans la nature pour développer des lois de comportement simplifiées. (Magnan, 1991).

Deux modes de rupture ont été observés:

- Les ruptures par glissement sur une surface
- Les ruptures par plastification et écoulement d'une masse de sol.

Dans le cas de l'action des outils, ces deux ruptures sont respectivement appelées déformation par cisaillement et déformation par compression.

En effet, comme dans tout matériau, la bande de terre sollicitée par un outil aratoire, réagi par des déformations normales et tangentielles dues aux contraintes normales et tangentielles, réparties dans l'espace tel que montré sur la figure suivante:

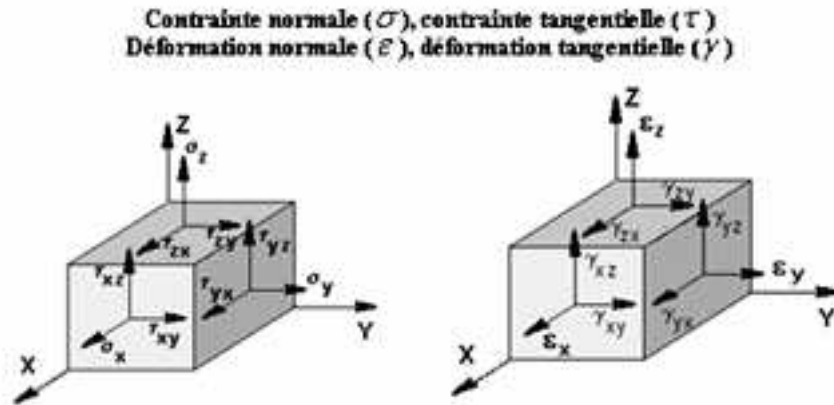


Figure 14: Contraintes et déformations normales et tangentielles

La nature et la valeur de ces déformations sont fonction de la texture, de la structure et surtout de la teneur en eau et de la valeur de l'effort appliqué sur la bande de terre. La quantification de ces déformations est établie à partir des relations :

**Contrainte normale (compression)** : la contrainte dite normale est donnée par la relation

$$\sigma(x, y, z) = E \cdot \varepsilon(x, y, z)$$

et la **Contrainte tangentielle (cisaillement)** par la relation

$$\tau(x, y, z) = G \cdot \gamma(x, y, z)$$

Avec :

- E = module de Young ou module d'élasticité longitudinale qui est une propriété mécanique du matériau (daN / cm<sup>2</sup>) ou kPa.
- G = module de Coulomb ou module d'élasticité transversale qui est également une propriété mécanique du matériau (daN / cm<sup>2</sup>) ou kPa.

Ces deux relations représentent la loi de Hooke généralisée à la compression et au cisaillement, elles mettent en évidence la proportionnalité entre les contraintes et les déformations. Cette relation est déterminée expérimentalement, elle est plus pratique pour l'analyse des contraintes dans le sol, cela nécessite cependant des appareils appropriés tel que le sharegraphe ou appareil triaxial.

Sous l'effet des outils aratoires, le sol est appelé à subir une série de modifications chronologiques entre son état initial et son état final. Cette série de modification est étroitement liée à la forme de la surface active des pièces travaillantes de l'outil. Dans le cas des outils à surface complexe, tel que celle des corps de charrue à socs, le sol subit des transformations complexes et combinées dont les principales sont respectivement, le cisaillement et le début du soulèvement de la bande de terre par le soc, ensuite celle-ci est comprimée puis retournée par torsion, par la courbure du versoir. Ces rappels sur la mécanique des sols sont donc nécessaires pour la compréhension du mode d'action des outils aratoires.

## Conclusion :

---

A travers l'étude des modes d'action des différentes pièces travaillantes, on constate clairement que le mode d'action diffère entre les différentes pièces travaillantes, les outils à disques ont une action moins puissante par rapport aux outils à dents mais plus progressive.

Si on veut réussir les opérations de travail du sol, il faut choisir l'itinéraire technique le plus adapté à la nature du sol. L'analyse de l'action des outils quand à elle, combinée au profil cultural recherché par les plantes, peut constituer un bon outil de prévision du développement ultérieur de système racinaire.

Donc pour choisir les outils de travail du sol adéquat, il faut bien évidemment étudier le substrat qui est le sol agricole et de déterminer ses paramètres physico mécaniques ; ce qui fera l'objet de notre prochain chapitre.

## Chapitre 4 : Caractérisation des sols agricoles

### 4.1. Introduction

---

Les propriétés du sol jouent un rôle très important sur le développement des cultures puisqu'elles permettent ou non un bon développement du système racinaire. Après avoir donné un aperçu sur les relations Machine-sol- plantes aux chapitres précédents, il serait intéressant de savoir bien caractériser un sol afin d'intervenir correctement pour une bonne mise en place de la culture. L'une des propriétés les plus influentes sur le développement des racines et donc de la culture, est le niveau de compaction du sol.

En effet un sol compacté provoque en effet un accroissement de la pression sur les parois cellulaires des racines, ce qui réduit leur vitesse d'élongation et l'accroissement de leur diamètre. La plante peut répondre en réduisant le potentiel osmotique dans les racines. De cette manière, l'élongation est maintenue à condition que la compaction ne soit pas trop forte (Demissy et Farque, 1997). Outre la compaction, certains chercheurs pensent que la réduction de l'élongation pourrait également être provoquée par un messenger chimique synthétisé dans les racines par réaction à cet état du sol (Tardieu, 1994).

La diminution de la croissance des racines rend la plante plus sensible à la sécheresse : l'impact d'un déficit hydrique, même superficiel, est à la fois plus rapide et plus fort.

La compaction modifie également le système respiratoire des racines. L'augmentation de la respiration se traduit ainsi par des besoins accrus en oxygène.

L'évaluation de cet état et des différentes propriétés est donc très importante pour le choix des outils à utiliser, donc de la technique à mettre en place ; par exemple si le sol n'est pas très compacté, l'utilisation des charrues à socs ou à disque n'est pas nécessaire et elle est même déconseillée.

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

Cet état nous conduit à étudier les propriétés du sol et leurs incidences sur le développement de la plante.

Les sols agricoles se caractérisent par leurs propriétés physico- mécaniques. C'est des critères de différenciation importants. Les caractéristiques physico - mécaniques du sol sont des paramètres qui permettent, à un moment donné, d'apprécier la qualité culturale d'un sol.

Selon A.MERMOUD (2006) et I.BREUNE (1997),les propriétés physiques et mécaniques des sols agricoles sont :

- La texture ;
- La structure ;
- La masse volumique réelle du sol  $\rho_s$  ;
- La masse volumique sèche  $\rho_d$  ;
- La porosité totale ;
- La porosité de drainage ;
- La fraction volumique ;
- Surface spécifique ;
- La résistance pénétrométrique.

Dans ce chapitre, on va s'intéresser à l'intérêt de la caractérisation et surtout de l'évaluation de ces différentes propriétés des sols agricoles tout s'appuyant sur les éléments qui ont un effet sur elles. Nous insisterons beaucoup plus sur la compaction et la résistance pénétrométrique.

## **4.2. La résistance pénétrométrique**

---

Les différentes propriétés, citées ci-dessus, ont toutes une relation avec la compaction du sol. En effet un sol, à texture donnée, compact a une porosité faible, une densité apparente élevée et une structure dense.

La résistance mécanique à la pénétration est l'une des propriétés les plus déterminantes de la croissance racinaire de la plante et l'évolution de la résistance du sol aux outils de travail du sol (force de traction).

La pénétrométrie est la mesure de la résistance qu'oppose le sol à l'enfoncement d'un outil normalisé, dans notre cas il s'agit d'un cône normalisé.

Tout d'abord il faut mentionner que le pénétromètre mesure la force nécessaire pour enfoncer une tige dans le sol. La valeur obtenue devrait s'exprimer en newton. Cependant, la force est généralement divisée par la surface de base ou projetée du cône afin d'obtenir une mesure de contrainte nommée « cône index » (CI) qui s'exprime souvent en daN/cm<sup>2</sup> ou en kPa.

#### 4.2.1. La relation de la résistance pénétrométrique avec les autres propriétés physique du sol

Les premiers pénétromètres étaient utilisés pour la résistance mécanique des sols. Cette propriété correspond à leur capacité à supporter une pression sans se déformer ni se fracturer. Elle est fonction d'une part des différents liens entre les particules solides (cohésion) et d'autre part des forces de fiction existant au point de contact entre ces particules (Hillel, 1980).

La cohésion ainsi que les forces de fiction inter-particulaires dépendent des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol. Ainsi, la résistance pénétrométrique varie selon la texture du sol, sa structure, sa teneur en eau et sa masse volumique apparente.

D'autres facteurs comme la présence de fragments grossiers ou encore la teneur en matière organique influencent également la Résistance pénétrométrique. Billot (1982), souligne d'ailleurs que les sols caillouteux et argileux plastiques devraient être exclus des analyses de pénétrométrie. En effet, la présence de roches peut entraîner un blocage fréquent du pénétromètre ou donner des valeurs de "cône index" anormalement élevées. Quant aux sols argileux, à certaines teneurs en eau, ils deviennent tellement collants que la friction s'élève de façon très importante. Il est alors impossible d'interpréter correctement les résultats.

De nombreuses études ont permis de mettre en relation  $R_p$ , MVA et  $W_p$ . On constate la grande variabilité des équations présentées (relation linéaire, quadratique, etc.). Il faut cependant souligner que chaque équation est souvent spécifique à un type particulier de sol (texture et plage de teneur en eau restreintes).

Référence	Type d'équation de régression (1)
Gooderham et Fisher (1975)	$RE = a + b_1 W_p + b_2 W_p^2 + b_3 MVA + b_4 W_p MVA$
Wells et Treesuwan (1978)	$RE = a + b \ln W_p$
Ehlers et al. (1983) (calculée sur des sols à forte teneur en limon)	$RE = a + b_1 W_p + b_2 MVA + b_3 W_p MVA$
Busscher et al. (1987) (calculée sur 11 Ultisols, avec un potentiel matriciel de - 100 kPa et une $W_p$ variant de 3 à 33%)	$\Delta RE = b_1 \Delta W_p + b_2 \Delta MVA + b_3 \Delta W_p^2 + b_4 \Delta MVA^2 + b_5 \Delta W_p \Delta MVA$
Jakobsen et Dexter (1987)	$RE = \exp(a + b_1 W_p + b_2 MVA)$

(1): RE: résistance à l'enfoncement;  $W_p$ : teneur en eau; MVA: masse volumique apparente; a et b: constantes.

Tableau 6 : Équations de régression reliant la résistance à l'enfoncement, la masse volumique apparente et la teneur en eau.

Source: Adapté de Canarache (1990).

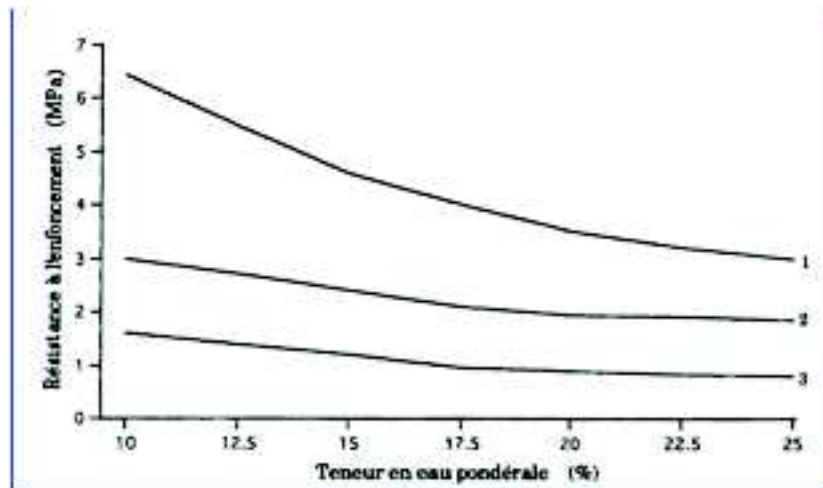


Figure 15 : Valeur de résistance à pénétration en fonction de la teneur en eau pondérale et de la masse volumique apparente

Source: Adaptée de Canarache (1990).

Avec:

- (1): MVA = 1,24mg/m<sup>3</sup>, Argile =29 %, RE = 486 Wp - 0,88;
- (2): MVA = 1.16 mg/m<sup>3</sup>, Argile = 29 %, RE = 147 Wp - 0,67;
- (3): MVA = 1,12 mg/m<sup>3</sup>, Argile = 33 %, RE = 122 Wp - 0,87.

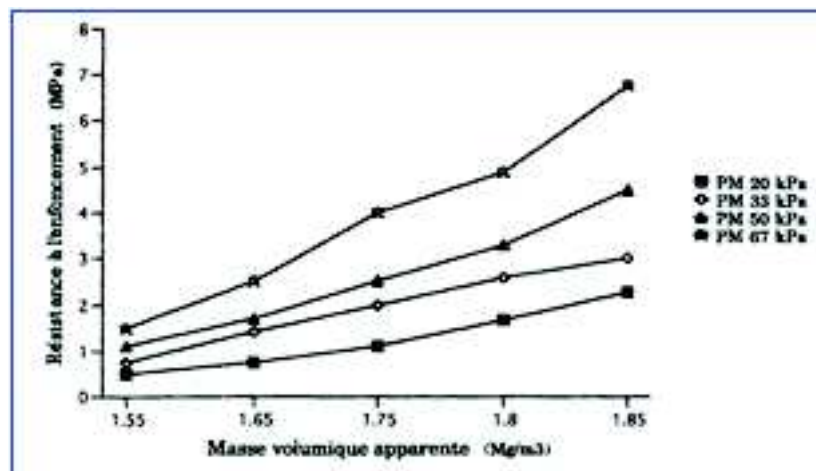


Figure 16 : Résistance à l'enfoncement en fonction du potentiel matriciel (PM) et de la masse volumique apparente pour un sol limono-sableux.

Source : adaptée de Bradford (1982)

Les figures ci-dessus, illustrent la relation entre la résistance pénétrométrique (RE), la masse volumique apparente (MVA) et la teneur en eau du sol (Wp). Nous remarquons que plus la teneur en eau est faible dans un sol, plus la résistance pénétrométrique augmente. Selon Billot (1982), pour être capable d'interpréter correctement les résultats, il est préférable d'opérer dans un sol bien ressuyé, avec une humidité la plus homogène possible. Outre cela, on peut observer une augmentation importante de la résistance pénétrométrique en fonction de la masse volumique apparente (d'autant plus si le sol est sec). Nous remarquons également que pour un potentiel matriciel de 33 kPa, qui correspond



---

approximativement à la capacité au champ en sol sableux, la relation entre MVA et RE est quasiment linéaire.

De plus, certaines études sur la dynamique de la croissance racinaire démontrent que cette dernière s'effectue principalement en conditions humides (Marschner, 1986). Ainsi, certains auteurs soutiennent que les mesures devraient toujours être effectuées à la capacité au champ (c'est-à-dire à une humidité au environ de 18 %) plutôt qu'en conditions sèches car c'est le moment choisi pour les interventions mécaniques.

Il est parfois difficile d'établir une corrélation entre MVA et Rp. En effet, MVA est une mesure volumique tandis que Rp est une mesure plus ponctuelle; ainsi la variabilité entre les mesures n'est pas toujours à la même échelle. De plus, les renseignements apportés par l'un ou l'autre des paramètres sont quelque fois différents. Parfois, il est possible d'observer une augmentation de la Rp avec 1a profondeur sans remarquer de différence notable au niveau de la masse volumique apparente. Ce phénomène s'explique généralement par l'augmentation de la friction le long de la tige avec la profondeur (Soane, 1973). Ainsi, en utilisant uniquement les valeurs de Rp, on peut parfois conclure faussement à la présence d'une zone compacte. Il est donc généralement recommandé de mesurer conjointement la Rp avec d'autres paramètres notamment Wp et MVA.

#### **4.2.2. Relation entre la résistance pénétrométrique et la profondeur de Travail.**

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.

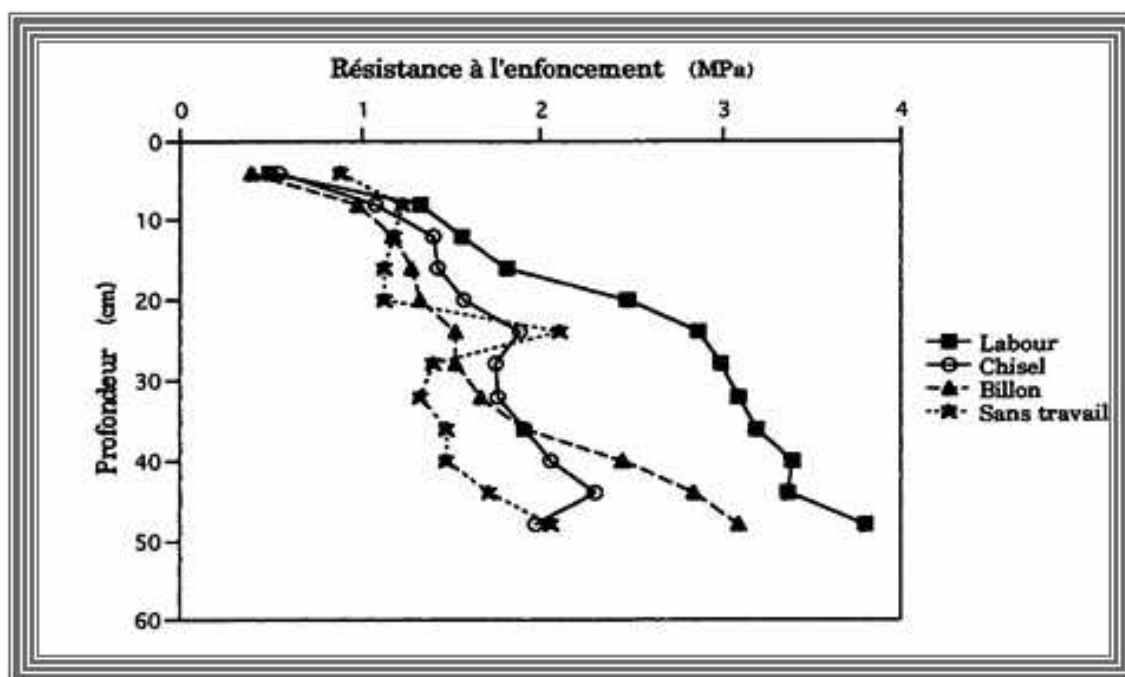


Figure 17 : Valeur moyenne de résistance pénétrométrique selon la profondeur et en fonction du type de travail du soi sur un limono sableux (valeurs obtenues au niveau des traces laissées par les roues). La résistance pénétrométrique (en MPa)

Source: Adaptée de Hilfiker et al. (1984).

AMARA et al. (2007), ont réalisés des travaux dans ce contexte, ainsi leurs travaux on portés 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 subit 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/cm<sup>2</sup> 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.

#### 4.2.3. Relation entre la résistance pénétrométrique et l'enracinement

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/mm<sup>2</sup>), 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.

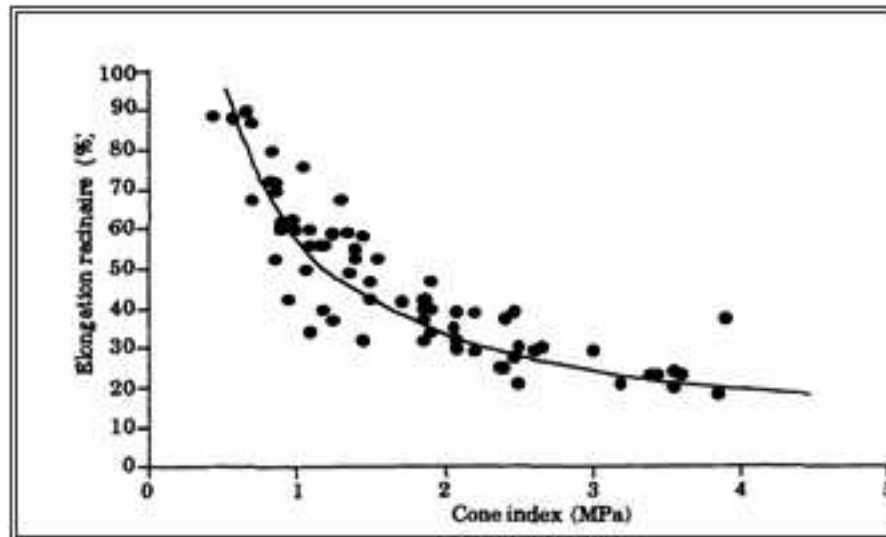


Figure 18 : Relation entre l'élongation des racines de plants de maïs, de coton, de blé et d'arachide âgés de 70 jours et la pression mesurée à l'aide d'un pénétromètre.

Source: Adaptée de Bennie (1991).

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 décrit pas parfaitement l'élongation racinaire. D'une part, la fiction 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 sécrète 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.

### 4.3. Effets de la rotation des cultures sur les propriétés du sol

Selon Tropes (2009), la rotation améliore la structure du sol, elle a un effet important sur la vie du sol et la nutrition des plantes grâce à des systèmes racinaire différents : le profil du sol est mieux exploré. Une bonne rotation alterne les cultures à enracinement profond, comme la luzerne, qui permet d'ouvrir le sol en profondeur et, à l'inverse, des graminées dont le système racinaire fasciculé améliore la partie supérieure du profil.

De plus, avec des dates de semis variées, une bonne rotation couvre le sol toute l'année et particulièrement pendant les périodes humides : le sol est plus facile à travailler par la suite et son érosion est limitée. Un CIPAN (Culture Intermédiaire Piège à Nitrates) n'est alors plus à considérer comme une obligation. En effet, ce couvert préparera le sol pour la culture suivante et sera idéalement un mélange d'espèces.

D'autres cultures, comme un pois ou une féverole avec peu de résidus de culture, laissent aussi un sol facile à travailler. Une meilleure structure du sol se traduira par une diminution des effets de l'érosion par l'eau et le vent, et augmentera la capacité à résister à la compaction et à la battance. Ainsi, les bases de la réussite d'une culture, c'est à dire son installation et sa nutrition, seront améliorées.

Par contre Almaric et al, 2008 voient que la rotation culturale favorise l'accumulation et la protection des ressources. Chaque type de plante puise des éléments nutritifs particuliers et restitue éventuellement des éléments fertilisants qui profiteront aux cultures suivantes. Elles laissent, par exemple, plus ou moins de matière organique dans la terre. Les légumineuses, insérées dans le cycle de rotation, permettent une augmentation de la teneur en azote dans le sol, au bénéfice des cultures suivantes. Les cultures compagnes ou de couverture conservent, elles, une partie des nutriments pour la culture subséquente.

Famille	culture	Impact sur l'humus	Impact sur la structure du sol
Céréales	Blé/Orge	Faible consommation	Amélioration par un enracinement profond
	Seigle/Avoine	Neutre	Amélioration superficielle
Plantes sarclées	Pomme de terre Betterave Légumes	Forte consommation	Enracinement superficiel/ laisse peu de résidus
	Maïs	Faible consommation/fournit une biomasse importante	Maintien de la structure
Oléagineux	Colza	Faible production	Enracinement profond
	Navet	Faible production	Ameublissement profond
Légumineuses	Mélanges annuels	Faible production	Amélioration de la structure par un enracinement profond, Augmentation de l'azote du sol
	Mélanges pluriannuels	Forte production	
Plantes fourragères		Augmentation de la quantité de matière organique et d'azote	Amélioration de la structure du lit de semence

Tableau 7 : impact de différentes cultures

Source : Almaric., et al. (2008)

#### 4.4. Effet des machines agricoles sur les propriétés du sol

L'augmentation importante de la superficie des exploitations agricoles a entraînée l'utilisation de machines dont la taille est de plus en plus imposante. Cette machinerie, plus lourde et plus puissante, parfois utilisée dans de mauvaises conditions (teneur en eau du sol trop élevée, etc.) peut causer de graves dommages à la structure d'un sol.

Selon Kheyar (1986), Sur le terrain, une pression de contact égale à  $2 \text{ kg/cm}^2$  provoque une augmentation de tassement de l'ordre de 60%.

Cette influence est confirmée par les travaux de Raghavan et al (1976) qui ont mené une étude destinée à évaluer le tassement pour différents nombres de passage (de 1 à 15) et différents types de pneumatiques. Il remarque que les densités du sol augmentent avec le nombre de passages et le type de pneumatique, les accroissements de densité atteignent  $0,48 \text{ g/cm}^3$ . Il constate aussi qu'il existe un seuil (10 passages) ou delà duquel la densité du sol varie peu.

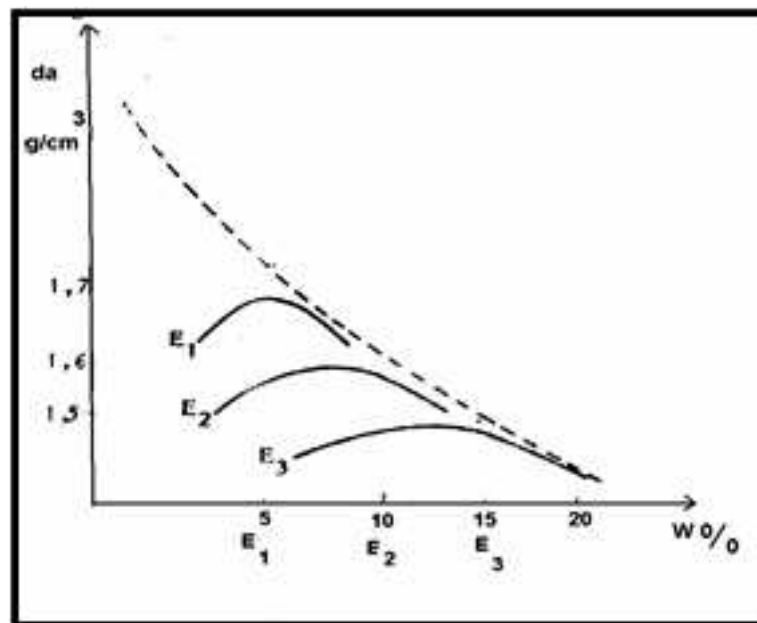


Figure 19 : Influence de l'énergie appliquée.

Source : Mokhtari (2007)

En comparant les courbes Proctor à différentes énergies de compactage avec les courbes de terrain soumis aux passages d'une remorque, conclue que les courbes de terrain ont une allure grossièrement semblable à celle du test Proctor. (Mokhtari, 2007).

##### 4.4.1. Influence des organes de roulement des tracteurs

Il faut noter que Fic et Polacovic (1983) ont comparé l'influence du tracteur à roues et de tracteur à chenilles sur le tassement d'un vignoble et ils ont utilisé pour cette étude un tracteur vigneron d'un poids de 1650 kg. Ce tracteur a été conçu en deux versions ; a roues

et à chenilles. Il a trouvé que le tassement est légèrement supérieur dans le cas du tracteur à roues, mais c'est surtout le nombre de passage qui influe sur l'augmentation des densités.

D'après des travaux Suédois, plus de 150 traitements différents, faisant varier huit facteurs ont été mis en place dans divers champs d'essais. Ils ont permis d'étudier les conséquences des passages de tracteur sur le coefficient de compacité du sol. Les résultats de ces travaux ont montré que :

- Le facteur qui a le plus d'influence sur le degré de compacité du sol est son humidité. A partir d'un degré de compacité de 78, on constate une élévation de la compacité jusqu'à 80 ou 85 en sol sec, mais jusqu'à 90 et plus en sol humide.
- Le nombre de passage est le facteur qui vient en second pour accroître la compacité : trois (03) passages successifs donnent toujours un accroissement de compacité significatif. Mais même après (09) passages, on peut encore trouver un accroissement de compacité. Toute fois, en conditions humides après (03) passages qu'on atteint le tassement maximal. Dejou et al, 1984, ont constaté une augmentation de la densité apparente du sol variant de 0,08 à 0,4 g/cm<sup>3</sup> et la densité apparente mesurée après le 15<sup>eme</sup> passage (1,43 g/cm<sup>3</sup>), était très proche de celle du sol d'un verger voisin installé depuis une trentaine d'années.

Le poids total du tracteur n'intervient qu'ensuite. Il faut dire que les poids des matériels ont varié seulement de 2,4 tonnes à 5,4 tonnes (tracteur de 45 à 100 CV; dimensions des roues et des pneumatiques accrues en même temps que le poids ; pression de gonflage identique), la pression au sol se trouvait voisine pour les différents tracteurs. (Dalleine, 1979)

Cependant, Georges et al (2005) ont montré que si le poids à l'essieu dépassant les 5-7 tonnes/essieu sur un sol humide et même avec des pneus peu gonflés ou radiaux on a une compaction des couches profonde c'est-à-dire le tassement donc le poids à l'essieu et le niveau d'humidité du sol restent les facteurs primordiaux à considérer.

En faisant varier la pression des pneumatiques, la compacité immédiatement sous la roue s'accroît. Mais on a été surpris de son influence relativement faible sur la masse de la couche arable dans l'ensemble des cas.

A grande vitesse, les tassements ont été quelque peu moindres qu'à vitesse plus lente, mais malgré des variations allant de 2 à 12 km à l'heure, les différences sont restées petites.

En fin, l'influence d'effort de traction plus ou moins important n'a pu être mise en évidence bien qu'ils variaient entre l'absence d'outil tracté, un effort léger et effort lourd. (Dalleine, 1979 in Mokhtari, 2007)

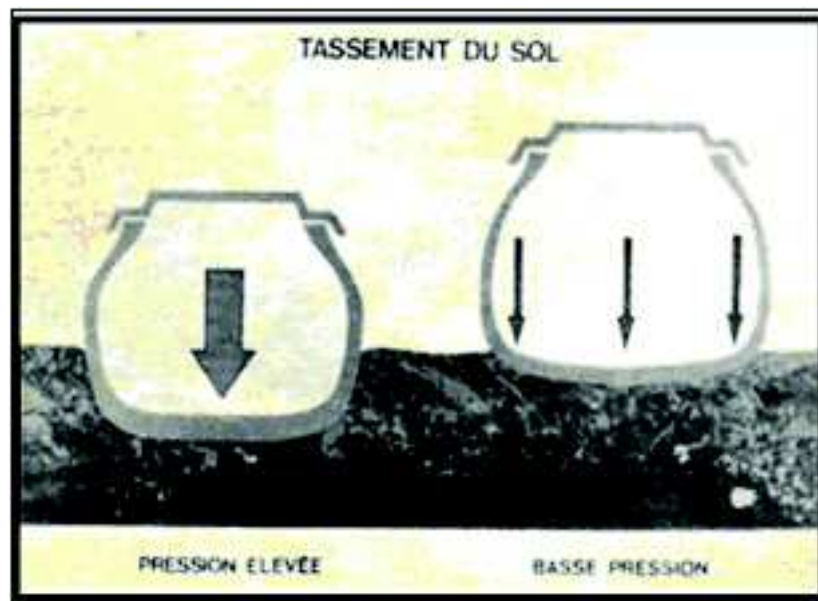


Figure 20 : Tassement des sols.

Source : Mokhtari (2007)

La compaction en profondeur, est celle qui cause le plus de dommage et donc l'effet sur le rendement peut durer une dizaine d'année en l'absence d'un sous-solage. La couche compactée se retrouve à une trentaine de centimètres de profondeur et peut aller jusqu'à soixante centimètres. Cette dernière est causée prioritairement par un poids à l'essieu dépassant 5-7 tonnes/essieu sur un sol humide. Même avec des pneus peu gonflés ou radiaux, le poids à l'essieu et le niveau d'humidité du sol reste les facteurs primordiaux à considérer.

Le tableau ci contre donne une idée générale du poids moyen à l'essieu de diverses machineries agricoles.

MACHINERIES	Poids à l'essieu (tonnes/essieu)
Tracteur, 2 roues motrices	5-7 tonnes
Tracteur, 4 roues motrices	7-13 tonnes
Moissonneuse 6 rangs, vide	10 tonnes
Épandeur de fumier liquide, 5000 gal, 3 essieux	11 tonnes
Moissonneuse 12 rangs, vide	18 tonnes
Wagon à grains rempli, 600 boisseaux, 1 essieu	20 tonnes
Moissonneuse 12 rangs, remplie	24 tonnes
Wagon à grains rempli, 1200 boisseaux, 1 essieu	40 tonnes

Tableau 8 : Poids moyen approximatif machineries agricoles.

Source : Adapté d'une étude de Bill Casady, Uni. Missouri (2005)

A travers ces valeurs, nous remarquons que le sol est fortement sollicité et que le travail du sol en profondeur est le seul moyen de lui redonner une vie.

#### 4.4.2. Effet des pratiques culturales

Le labour classique accroît les dangers de dégradation du proche du sous-sol en raison de la pression directement exercée par la roue de fond de raie du tracteur et cela d'autant plus que la charrue a un nombre réduit de corps.

La multiplication des façons superficielles du fait des nombreux passages qu'elles entraînent augmente la compacité de la couche arable.

L'abondance de certaines façons culturales (labours et façons superficielles) diminue les espaces lacunaires du sol et en augmente la compacité : c'est le cas lors du semis direct, notamment du maïs.

L'ameublissement exagéré du sol travaillé en conditions d'humidité élevée, les assolements intensifs associés à l'utilisation d'outils travaillant à profondeur constante, influe aussi sur le tassement. (Kouassi, 1977)

#### **4.4.3. Effet du patinage**

Le patinage par le pneumatique accroît les risques de tassement. D'après les essais réalisés par le C.E.M.A.G.R.E.F en 1984, quand le pneumatique est plus large il influe moins sur la pression sur le sol, mais provoque, dès qu'il patine, une densité élevée.

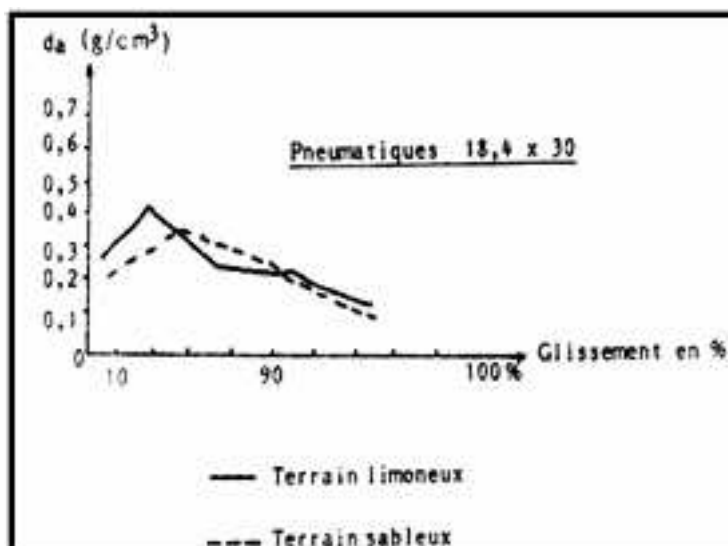


Figure 21 : Influence de patinage sur le tassement des sols.

Source : C.E.M.A.G.R.E.F, (1984)

#### **4.5. Conclusion**

---

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.

A travers ce chapitre, on constate que les études antérieures ont montré que l'on peut enregistrer une baisse de rendement variant de 10-30%. Ce pourcentage augmentera avec le temps si les mêmes pratiques culturales ayant causé la compaction sont maintenues. Dans un sol compacté, un programme adéquat de fertilisation, le chaulage, le choix de la variété, et même un bon climat ne fonctionneraient pas puisque la compaction cause



la dégradation significative d'une composante physique et biochimique du sol que sont l'aération et l'activité biologique, respectivement. La dureté du sol au niveau de la couche de compaction limite énormément l'expansion des racines dans le sol ce qui se traduit par un faible développement racinaire et donc une mauvaise absorption des éléments nutritifs. Il peut alors arriver que le producteur constate une carence qui malheureusement n'est pas due à une déficience du sol.

## Conclusion bibliographique

---

Au travers de cette première partie de notre travail, 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 :

- L'action des outils aratoires a une influence très positive sur les caractéristiques physico - mécaniques du sol. Ces caractéristiques sont en corrélation les unes avec les autres et ont à leur tour une action notable sur les paramètres qui conditionnent le développement des racines à savoir l'eau l'oxygène et les éléments nutritifs.
- L'obtention d'un profil favorable tant en surface qu'en profondeur nécessite un choix judicieux des outils aratoires ce choix doit être basé sur les effets que provoquent ces outils sur les caractéristiques physico mécaniques du sol.
- Le tassement des sols agricoles est causé par la circulation de la machinerie ainsi que les passages répétés de la charrue à socs. Selon les études réalisées, le tassement du sol provoque une baisse de rendement variant entre 10 et 30%, d'un point de vue économique cette baisse de rendement est considérée comme trop coûteuse.
- 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.
- Malgré les nouvelles techniques simplifiées de la préparation du sol présentant des avantages économiques à court terme, le labour restera, sur les sols moyens à lourds, l'une des techniques prioritaire pour la régénération de la structure du sol souvent dégradée par les nombreux passages d'autres machines agricoles du semis à la récolte et surtout pour l'enfouissement et la lutte contre les mauvaises herbes.

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

- Analyse de l'effet des différentes techniques culturales sur l'humidité du sol, la porosité, et la résistance mécanique en s'appuyant sur les courbes.
- Analyse l'effet du traitement herbicide sur l'humidité du sol, la porosité, et la résistance mécanique en s'appuyant sur les courbes.
- Analyse des différentes corrélations entre les paramètres étudiés.
- Analyse de l'effet de la porosité et de l'humidité sur la résistance pénétrométrique (tous paramètres confondus).
- Analyse de l'évolution de la densité racinaire pour chaque technique et chaque traitement.
- Analyse des composantes du rendement pour chaque technique et traitements.

## **ANALYSE DU COMPORTEMENT DU SOL SOUS L'ACTION DE DEUX TECHNIQUES DE MISE EN PLACE D'UNE CULTURE DE CEREALE (*Triticum durum*)**

---

Ce travail une contribution a 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 de la plante.

---

# Partie expérimentale

## Chapitre 5 (les essais préliminaires) : Etude de l'effet du compactage des sols sur le développement racinaire d'une culture de sorgho.

### Introduction et objectifs de l'expérimentation

---

Les techniques de mise en place d'une culture, comme le travail du sol classique dit conventionnel et les techniques culturales simplifiées et 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 avec les nouvelles techniques sont souvent les mêmes qu'avec ceux obtenus avec la technique conventionnelle.

Le choix de la technique culturale à utiliser est souvent délicat, car ce choix est dicté par plusieurs paramètres liés aux sols, au climat, aux exigences de la culture et aux performances des machines à utiliser.

C'est dans ce contexte qu'on s'est intéressé à l'étude du comportement du sol sous l'effet des deux techniques culturales, et d'après ce qu'on a vu précédemment (partie bibliographique) sur les problèmes liés au labour ce qui a eu pour conséquence l'introduction des nouvelles techniques appelé techniques sans labour, à partir de la on pourra poser les problématiques suivantes :

- Quels avantages peut-on trouver à passer d'une conduite des parcelles avec labour à des techniques sans labour (TSL) ?

Ou d'une autre manière :

- Quels sont les inconvénients et les problèmes liés au semis direct ?

Pour répondre à ces problématiques, un programme de restauration de la qualité structurale des sols doit permettre de vérifier si des changements dans les pratiques culturales améliorent ou accentuent les problèmes de dégradation du sol. À cette fin, il existe plusieurs indicateurs de la qualité structurale des sols: la masse volumique apparente, la porosité totale (plus particulièrement la macro - porosité), la stabilité structurale (diamètre moyen pondéré des agrégats), la conductivité hydraulique, la résistance mécanique du sol, etc.

Donc l'objectif de notre expérimentation est de quantifier les indicateurs tels que (humidité, porosité, masse volumique apparente, résistance mécanique) dans le cadre d'une étude comparative entre le semis direct et le travail conventionnel et de voir bien évidemment l'effet des deux techniques ainsi que le traitement à l'herbicide sur le développement racinaire et leurs conséquences sur le rendement.

On va donc analyser les paramètres suivants :

- L'évolution de l'humidité

- L'évolution de la porosité
- L'évolution de la masse volumique apparente
- L'évolution de la résistance mécanique
- L'évolution de la densité racinaire
- Le poids de mille grains
- Le nombre d'épi par mètre carré
- Le nombre de grain par épi
- Le rendement estimé en grain.

En résumé l'objectif principal de la partie expérimentale est de mettre en évidence les effets et les interactions entre les différents facteurs cités ci-dessus et relatifs aux propriétés physico-mécaniques du sol, sur le développement du système racinaire et les conséquences sur celui de la plante blé dur.

Avant cela il nous a semblé nécessaire de commencer notre expérimentation par un essai préliminaire pour mettre en évidence l'effet du tassement du sol et de son humidité sur le développement des racines d'une culture de Sorgho.

## **5.1. Introduction**

---

Un des problèmes majeurs qui affecte l'agriculture moderne est le compactage 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 le développement racinaire, le compactage des sols agricoles est causé principalement par la circulation de la machinerie entre autres les tracteurs agricoles, c'est dans ce contexte qu'on va étudier la compressibilité du sol, dans le but de faire ressortir l'effet du compactage des sols agricoles sur la structure du sol et conséquence sur la densité racinaire.

Pour cela, nous avons effectué un test au laboratoire, qui a pour but de déterminer l'effet du compactage sur le développement de la culture du sorgho, le choix de cette culture pour ce test 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 qu'il y a un effet certain du compactage du sol que ce soit positive ou négative sur le développement des racines, donc il y a un effet de la technique choisie sur le développement de la plante.

## **5.2. Matériels utilisés**

---

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

### **5.2.1. 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 cultive tardivement par rapport au blé et son cycle végétatif est court.

Néanmoins, le système racinaire du sorgho est très développé et muni de nombreux poils radiculaires (presque 2 fois plus que le maïs). Au moment de la germination, apparaît la racine primaire ou embryonnaire. Plusieurs racines de ce type se développent. Celles-ci sont peu ou pas du tout ramifiées. Les racines secondaires se forment à partir des premiers noeuds ; ce sont ces racines qui, en se développant, constituent le système racinaire fasciculé abondant de la plante. Par la suite, les racines primaires meurent. Des racines adventives apparaissent plus tard sur les noeuds inférieurs et peuvent être nombreuses. Ces racines ne sont pas fonctionnelles quant à l'alimentation en eau et en éléments minéraux : on les appelle souvent des racines d'ancrage permettant à la plante de résister à la verse.

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.

La variété utilisée est *SUDAN GRASS*, outre son caractère herbacé plus accentué, taille bien, repousse bien après la coupe et est en moyenne plus précoce et peu sensible à la photopériode.

C'est une plante fourragère, de grande taille à tige fine, à feuilles étroites, qui possède une forte aptitude au tallage. Le nombre de talles émis varie suivant les conditions du milieu. Son système racinaire est puissant. Il est formé de racines adventives qui portent sur toute leur longueur de petites radicules minces et courtes.

### **5.2.2. 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 :

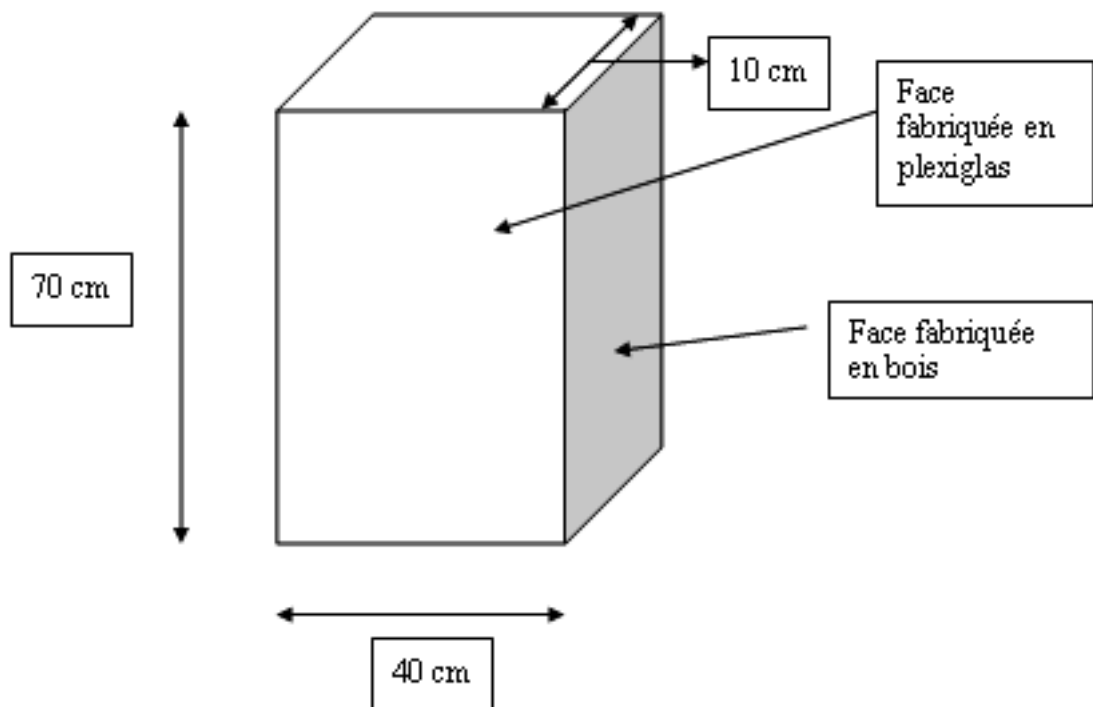


Figure 22 : schéma général et dimensions du pot



Figure 23 : photo du pot

### 5.2.3. 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 :

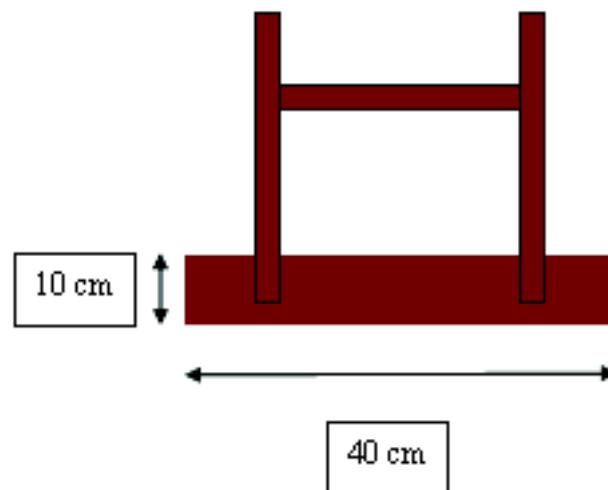


Figure 24 : schéma représentant les dimensions de l'outil de compactage

#### 5.2.4. 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.

### 5.3. Méthodologie suivie

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 où nous avons quantifié les indices du développement racinaire.

#### 5.3.1. 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 donnée les résultats suivants :

<b>Granulométrie</b> %	<b>A</b>	<b>36</b>
	<b>LF</b>	<b>23</b>
	<b>LG</b>	<b>2,20</b>
	<b>S.F</b>	<b>16</b>
	<b>S.G</b>	<b>26,08</b>
<b>Triangle textural USDA</b>		<b>Argilo- Limoneux</b>

Tableau 9 : analyse granulométrique du sol

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

Au terme d'une étude plus approfondi, Faure (1978), a distingué six classes de comportement en fonction de huit classes granulométriques ce qui après comparaison avec les indices de tassement textural, a permis de construire le triangle récapitulatif des risques de dégâts par tassement textural ci-dessous :

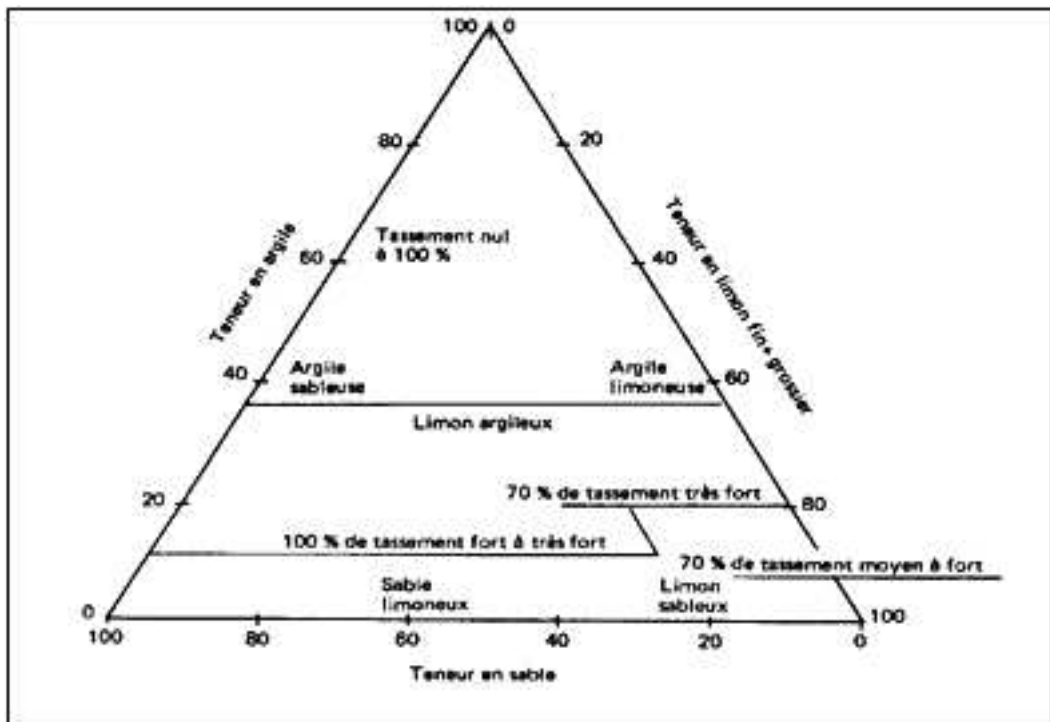


Figure 25 : Triangle récapitulatif des risques de dégâts par tassement textural

Source : Faure., 1978

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

#### 5.3.2.1. 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 10 : poids de mille graines

échantillons	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.



### 5.3.2.2. 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 11 : taux de germination

échantillons	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.

### 5.3.3. 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 12 : 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

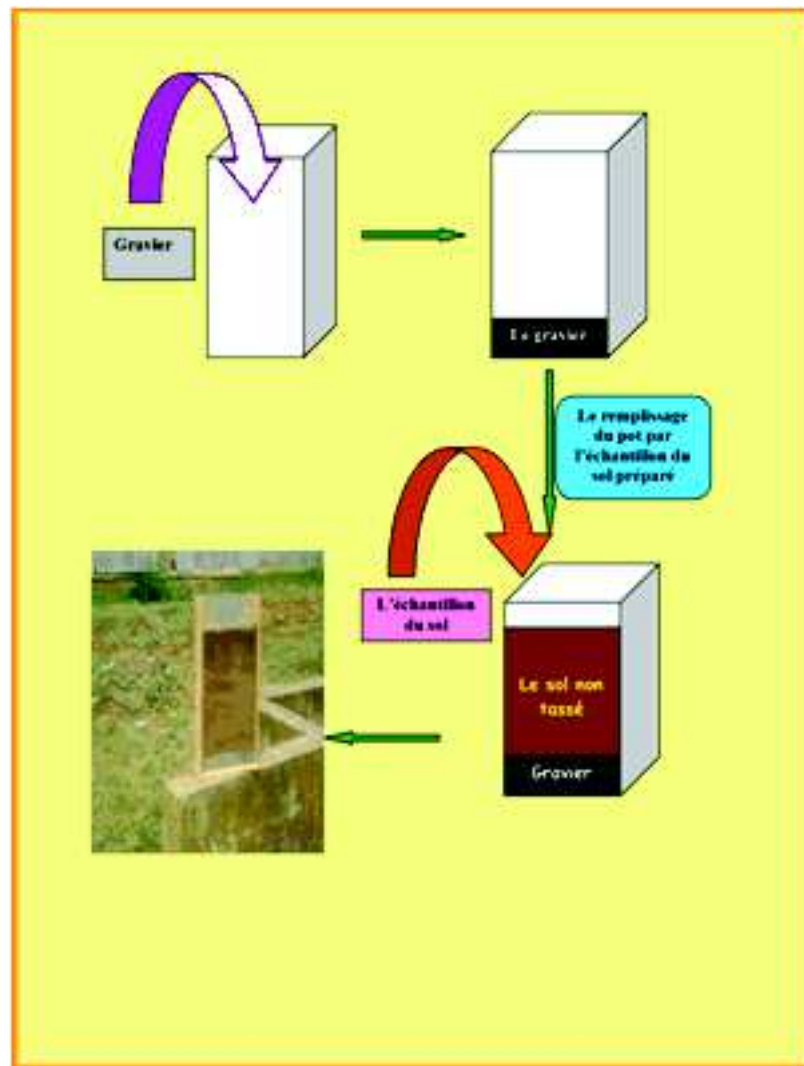


Figure 26 : les étapes suivies pour le remplissage du premier et cinquième pot.

· Le deuxième pot : remplissage + tassement

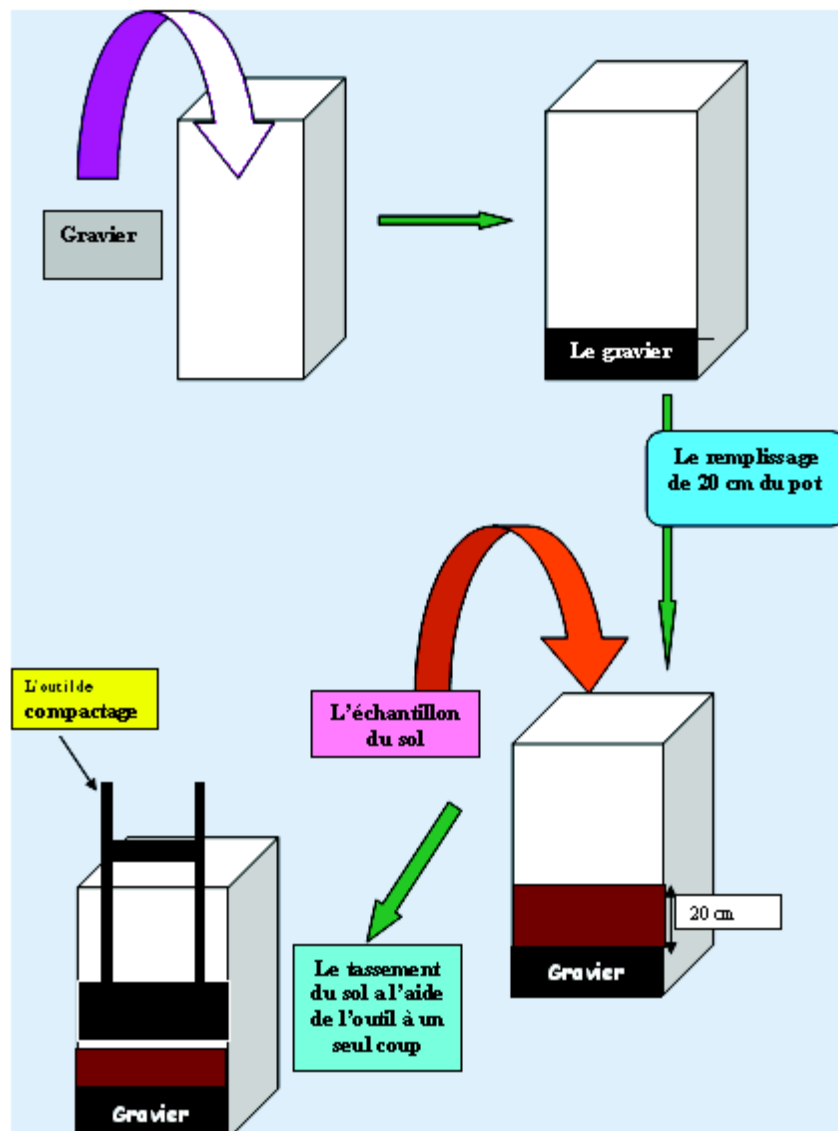


Figure 27 : les étapes suivies pour le remplissage deuxième pot

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 a l'aide e l'outil de compactage.

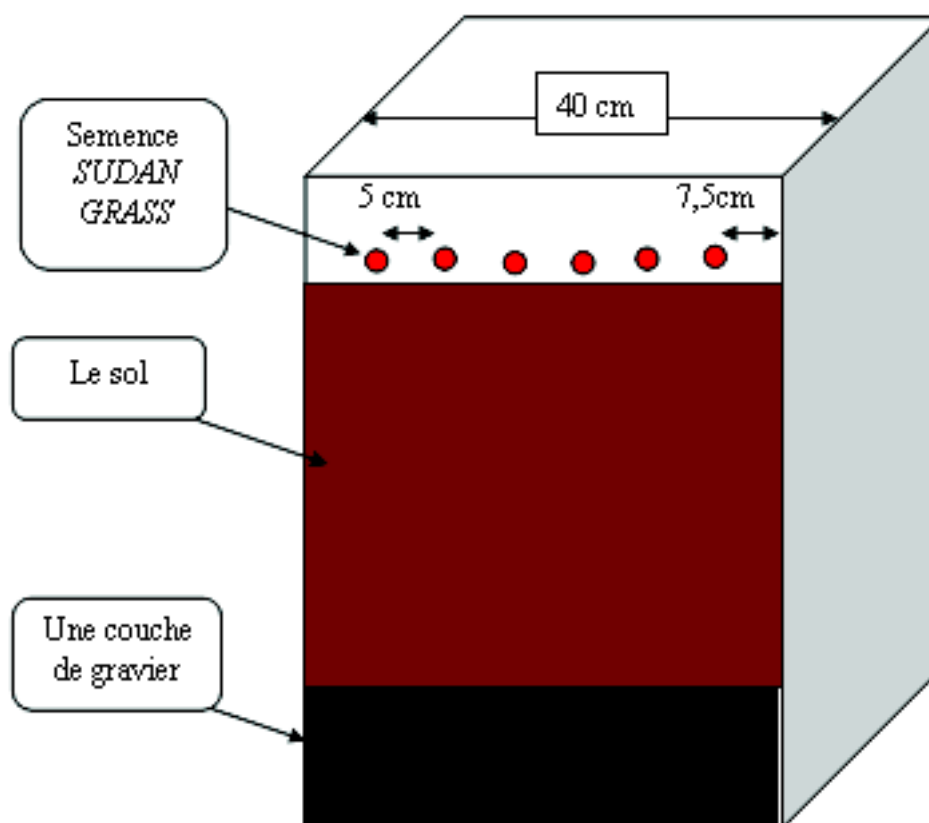
Pour les pots 6, 7, 8, 9, 10, c'est des répétitions des cinq premiers pots.

#### **5.3.4. La quatrième étape : le semis**

D'après Bakel (1999), de par les exigences du sorgho et compte tenu de la période de culture, le semis doit avoir lieu quand le sol est suffisamment ressuyé et réchauffé. Les graines doivent être semées à une profondeur de 4 à 5 cm car leurs réserves sont très réduites.

Le semis est effectué en lignes écartées de 20 à 40 cm, mais l'écartement entre les lignes doit être plus grand pour la conduite en sec. Pour obtenir un rendement satisfaisant, le peuplement à l'hectare doit être élevé : de 800.000 à 1.000.000 pieds au moins pour les types de SUDAN GRASS. Compte tenu du poids de 1000 grains et de leurs capacité germinative, il faudra prévoir 15 à 20 kg de semence a l'hectare pour la variété SUDAN GRASS.

Pour notre part et vu qu'on travaille dans un contexte réduit c'est-à-dire on travaille sur des pots, on a semis six graines dans chaque pot, l'écartement entre les graines est de 5 cm. La date de semis est le 20 mai 2010. Le mode de semis est illustré dans la figure suivante :



*Figure 28 : le semis du sorgho*

#### **5.3.5. Cinquième 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

La capacité d'adaptation du sorgho au stress hydrique est bien connue. Cependant elle a ses limites qui ont été mises en évidence ces dernières années. (Deumier et al, 1980).

Selon toujours les mêmes auteurs, des différences de l'ordre de 30 à 40 q/ha ont été obtenues entre des cultures irriguées et des conduites en sec. L'irrigation est donc intéressante si l'on veut atteindre un bon rendement ou le rendement potentiel des variétés.

La période la plus sensible au manque d'eau se situe du stade gonflement à la floraison. En cas de stress hydrique pendant cette période, la fertilité des panicules est systématiquement affectée. Avant cette période, pendant la montaison, du stade 8-10 feuilles au stade gonflement, un besoin en eau non satisfait peut limiter la croissance du peuplement, perturber l'épiaison de certaines variétés et affecter la fertilité des panicules. Ce risque est accentué en cas de densité de peuplement trop élevée.

La période de remplissage des grains après le stade grain laiteux est peu sensible, et l'enracinement est à son développement maximum et confère à la culture une forte capacité d'extraction d'eau dans le sol.

Le schéma suivant montre clairement les principaux stades du cycle végétatif du sorgho et les besoins en eau pour sa réussite.



Figure 29 : Les périodes de sensibilité au stress hydrique du sorgho

Source : Deumier et al., 1980

D'une façon générale, 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 assurer un rendement maximum du sorgho, il faut que la plante puisse consommer de façon régulière 400 mm pour un cycle court, 700 mm pour un cycle long **pour cela le système racinaire doit avoir un développement optimum**. Mais compte tenu des différentes pertes par percolation, ruissellement, évaporation, des possibilités réelles **d'absorption du système racinaire** du sorgho et de la capacité de rétention du sol, l'offre en eau due aux précipitations doit être supérieure d'au moins 30 à 40 % aux besoins de la plante.

## ANALYSE DU COMPORTEMENT DU SOL SOUS L'ACTION DE DEUX TECHNIQUES DE MISE EN PLACE D'UNE CULTURE DE CEREALE (*Triticum durum*)

Pour cela une pluviométrie bien répartie située entre 500 et 600 mm pour une variété de cycle court, 650 à 800 mm pour une variété de cycle moyen, 950 à 1100 mm pour une variété de cycle long est nécessaire si l'on veut assurer le rendement optimal dans des conditions de bonne fertilité des sols.

Les besoins en eau du sorgho augmentent pendant le cycle pour atteindre un maximum à la floraison (environ 6 à 7 mm/Jour). Le sorgho craint cependant l'excès d'eau. De même une période trop pluvieuse pendant la maturation peut réduire la qualité de la production.

Pour notre part, et vu qu'on travaille sur des pots, on pourra convertir les besoins d'eau pour la surface cultivée qui est de 0,04 m<sup>2</sup>. Donc et sachant que les besoins sont de 7mm par jour qui est l'équivalent de 7litres par m<sup>2</sup>, on aura après conversion :

$$\text{besoins} = 0,04 \times 7 = 0,28 \text{ litres / jour}$$

Au niveau des cinq premiers pots, on a fait varier l'humidité et les cinq autres pots on a fixé l'humidité à une seule valeur.

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

Tableau 13 : les doses d'irrigations suivies

Signalons toutefois que l'irrigation a commencée le 20 mai 2010 soit le jour du semis.

Fertilisation

Pour la fertilisation minérale du sorgho, des expériences ont montré que le pivot de la fumure est l'azote (N) : pour la production de 100 kg de grains, 3,5 kg d'azote sont mobilisés dont 50 % dans le grain (Chantereau et Nicou, 1991). Cependant, l'azote n'est complètement valorisé que si les quantités de phosphore disponible pour la plante sont suffisantes et cela dépend de la richesse du sol en cet élément. C'est ainsi qu'on considère que toute fertilisation minérale du sorgho doit être à base d'engrais binaire NP.

Par ailleurs, des études ont montré que l'efficacité de l'utilisation de l'eau par la plante dépend du niveau d'alimentation en azote du sorgho. Il ne faut cependant pas se limiter sur ces deux éléments pour la culture du sorgho. Il importe surtout d'avoir un sol équilibré pour éviter que certains éléments nutritifs deviennent des facteurs limitants à cause des antagonismes possibles.

Pour notre part on a apporté à la culture une dose de fertilisant qui contient du NPK dix sept jours après le semis c'est-à-dire le 06 juin 2010.

## **5.4. Résultats et interprétations**

---

### **5.4.1. Introduction**

A travers cette étude, nous ferons une approche sur l'effet du compactage du sol sur la levée et le développement racinaire de la plante de sorgho fourrager.

Cet essai préliminaire est réalisé pour mettre en évidence l'effet du compactage du sol et de l'humidité de celui-ci sur le développement d'une culture donnée.

### **5.4.2. 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.

#### **5.4.2.1. Développement racinaire**

##### **5.4.2.1.1. Introduction**

A priori nous savons que l'activité et la croissance des racines dépend de l'état structural du sol qui résulte lui-même essentiellement de la technique culturale choisie ainsi que du climat.

Généralement les racines croissent en longueur et en profondeur, mais le principal mode de croissance notamment chez les espèces annuelles et herbacées est la croissance de longueur. Ce mode de croissance permet à la racine d'exploiter des volumes croissants du sol. Pour évaluer cette croissance nous nous proposons d'étudier deux paramètres d'enracinement : Le poids des racines et la profondeur d'enracinement

##### **5.4.2.1.2. Densité racinaire**

###### **5.4.2.1.2.1. Méthode de prélèvement**

Elle consiste à prélever sur une surface de 400 cm<sup>2</sup> 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.

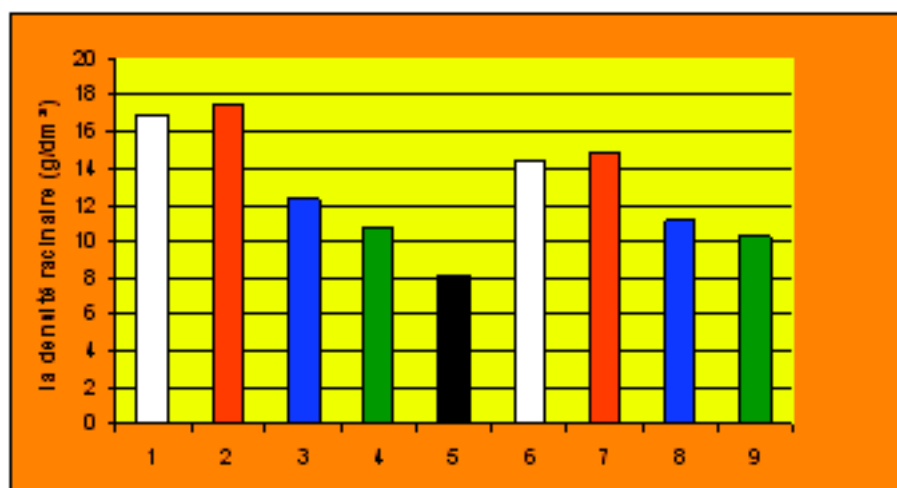
#### **5.4.2.1.2.2. Les résultats**

Les valeurs des différents prélèvements de densité racinaire sont mentionnées sur le tableau suivant :

Le numéro du pot	La densité racinaire (g / dm <sup>3</sup> )
N° 1 (témoin)	16,98
N° 2 (1coup)	17,56
N° 3 (2coups)	12,37
N° 4 (3coups)	10,71
N° 5 (4coups)	8,09
N° 6 (témoin)	14,39
N° 7 (1coup)	14,87
N° 8 (2coups)	11,13
N° 9 (3coups)	10,29

*Tableau 14 : les résultats de la densité racinaire*

Dans la figure suivante nous représentons les densités racinaires pour les dix pots avec les différents cas de tassement :



*Figure 30 : représentation des résultats de la densité racinaire pour les dix traitements*

#### **5.4.2.1.3 Profondeur d'enracinement**

##### **5.4.2.1.3.1. Méthode de mesure**



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.

#### 5.4.2.1.3.2. Résultats

Les valeurs détaillées des différentes mesures effectuées figurent dans le tableau suivant :

Le numéro du pot	Les profondeurs d'enracinement (cm)
N° 1 (témoign)	20,6
N° 2 (1coup)	19,3
N° 3 (2coups)	17,2
N° 4 (3coups)	15,1
N° 5 (4coups)	13,2
N° 6 (témoign)	18,3
N° 7 (1coup)	18,8
N° 8 (2coups)	15,9
N° 9 (3coups)	14,5

Tableau 15 : les résultats de la profondeur d'enracinement

Dans la figure suivante nous représentons les différentes profondeurs d'enracinement pour les dix pots avec les différents cas de tassement :

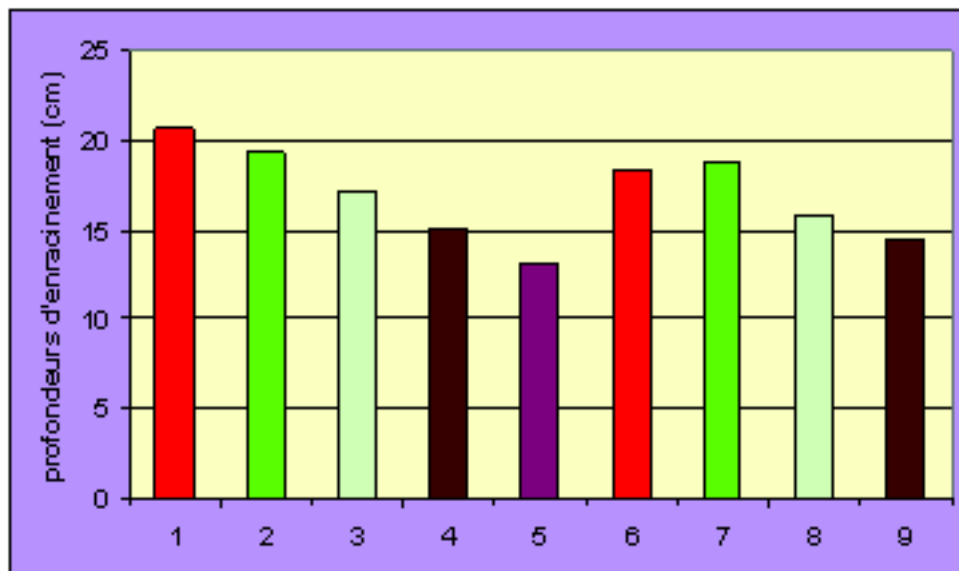


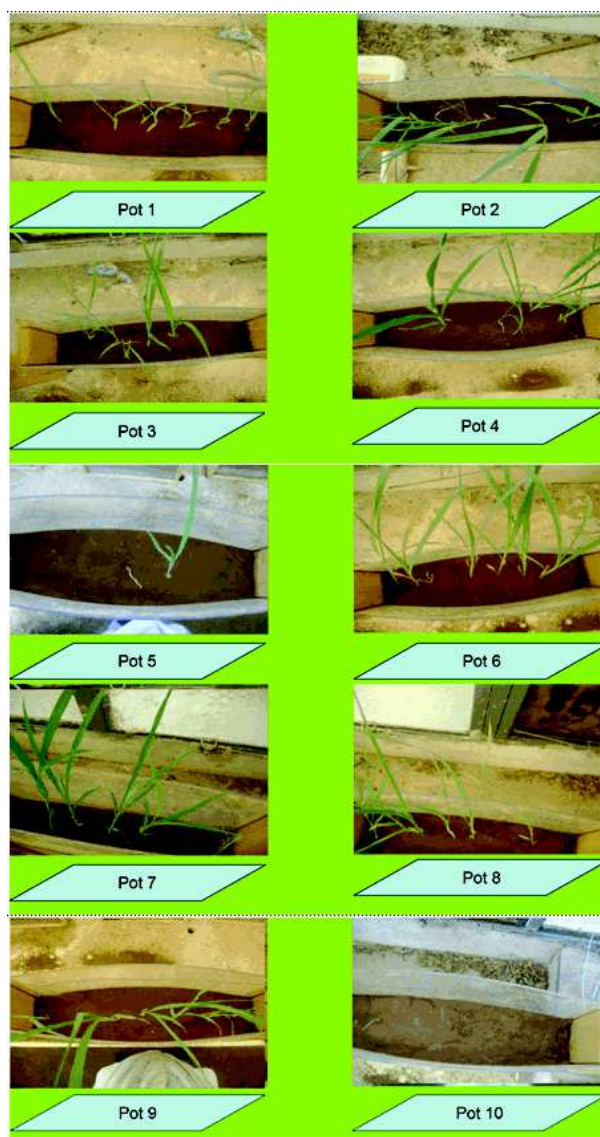
Figure 31: représentation des résultats des profondeurs d'enracinements pour les dix traitements

#### 5.4.3. 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 où 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 32 : 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 où 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.

## 5.5. Conclusion

Les résultats obtenus au cours de ses 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 deux 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 quand à l'introduction de nouvelles techniques.

# Chapitre 6 : présentation du milieu d'étude

## 6.1. Conditions pédoclimatiques du milieu d'étude

### 6.1.1. Situation géographique

Les données qui seront exploitées dans le cadre de ce projet ont été prélevées sur un seul site qui est 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. Elle se trouve à 24 m au-dessus du niveau de la mer ; entres les isohyètes 600 mm et 700 mm. Elle appartient à l'étage bioclimatique subhumide à hiver doux.

Elle occupe une superficie de 30 ha environ, elle est utilisée pour la production des céréales et des cultures fourragères mais également pour l'expérimentation dans le cadre des travaux de recherches des équipes de l'ENSA.



Figure 33 : la situation géographique de la ferme centrale

### 6.1.2. Conditions climatiques du site

La ferme centrale de l'école nationale supérieure agronomique appartient au climat méditerranéen qui est caractérisé par des hivers doux et humides ainsi que des étés chauds. La région d'EL Harrach est caractérisée par les mêmes données géomorphologiques et la même histoire géologique que celle de la Mitidja.

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

Selon les données climatologiques de Seltzer (1946), le climat de la région d'étude est de type méditerranéen appartenant à l'étage bioclimatique subhumide. Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson 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<sup>ème</sup> quinzaine de Septembre au mois d'Avril) et d'une saison sèche et chaude dans le reste de l'année. En ce qui concerne le pédoclimat, selon les travaux de Newhall (1976) in (Abib Et Haddad, 1995), le régime de température est de type thermique, alors que le régime hydrique est de type xérique.

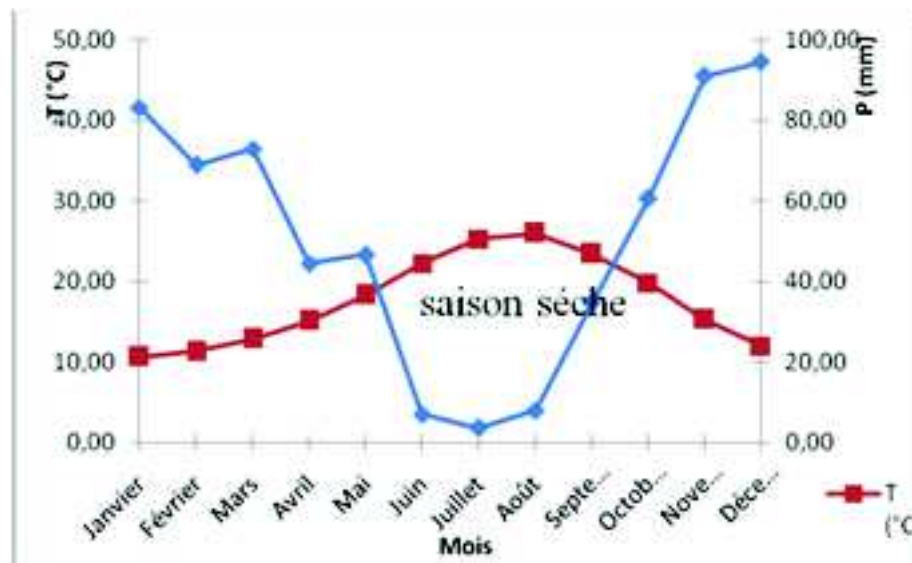


Figure 34 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls Et Gaussien (La région d'EL-Harrach)

### 6.1.2.1. Conditions climatiques des campagnes d'essais

· Conditions climatiques de la campagne 2007/2008

Tableau 16 : Conditions climatiques de la campagne 2007/2008

	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	Aout	annuel
PJ max (mm)	12,1	48,9	71	27,3	15,3	13,2	22,3	12,3	30	8,6	2	0	71
Jour du max	22	30	25	15	3	29	30	10	19	10	15	1	
Nbre jour pluv.	5	14	15	10	6	6	8	3	10	3	1	0	81
Totaux (mm)	17,8	172,3	236,6	73,8	27,8	22,4	76,6	18,4	67,8	9,2	2	0	724,7

Source : A.N.R.H

La pluviométrie de cette campagne a été relativement bonne proche de la normale, la moyenne de la région étant estimée à 724 mm au total, pour une normale de 749 mm, soit un petit déficit de 4%.

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

· Conditions climatiques de la campagne 2008/2009

Tableau 17 : Conditions climatiques de la campagne 2008/2009

## ANALYSE DU COMPORTEMENT DU SOL SOUS L'ACTION DE DEUX TECHNIQUES DE MISE EN PLACE D'UNE CULTURE DE CEREALE (*Triticum durum*)

	Sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	annuel
PJ max (mm)	34,8	14,6	33,5	31,4	27	4,8	21	19	13	0	3,5	1,3	34,8
Jour du max	26	28	15	14	4	7	4	3	1	1	14	13	
Nbre jour pluv.	9	10	14	13	18	7	9	13	5	0	1	3	102
Totaux (mm)	84	47,7	167,2	184	134,1	16,5	67,4	90,7	31,8	0	3,5	2,6	829,5

Source : A.N.R.H

En premier lieu, la quantité de pluie enregistrée dans cette campagne est largement supérieure à la normale, 829,5 mm contre 757 mm la normale de la région, d'après (ANRH, 2010) sur 59 ans, soit 9% d'excédent. Néanmoins, ce que nous avons constaté, est que sa répartition a été très régulière dans le temps. En effet, on a enregistré 299 mm durant les mois de septembre, novembre, et décembre contre 242 mm la normale. Alors que l'hiver était excédentaire de 6%. Enfin, le printemps, on enregistre un excédent allant jusqu'à 70% par rapport à la normale.

· Conditions climatiques de la campagne 2009/2010

Tableau 18 : Conditions climatiques de la campagne 2009/2010

	Sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril
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

Source : A.N.R.H

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

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

### 6.1.3. Caractéristiques pédagogiques de la parcelle d'essai

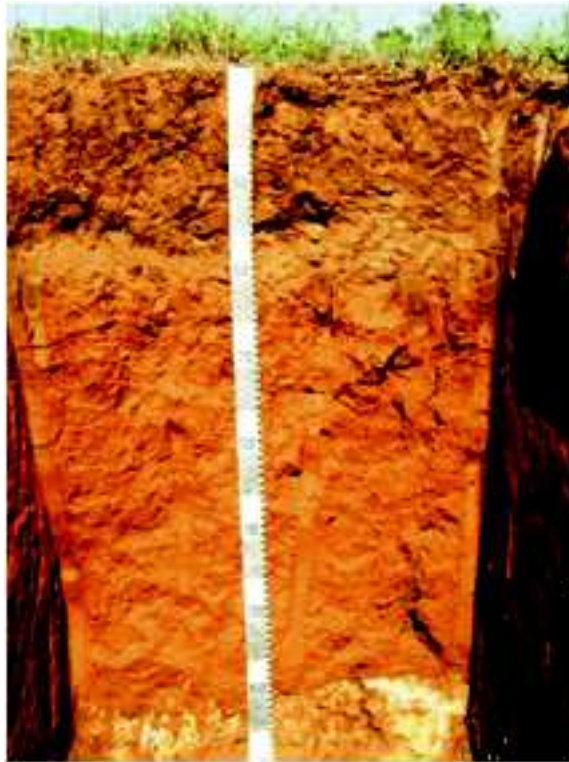
#### 6.1.3.1. Description morphologique

- **Pente** : 0,5 à 1%
- **Drainage externe** : Bon.
- **Géomorphologie** : parcelle à relief plat
- **Charge de surface** : 0%
- **Végétation** : précédent **sorgho** ; culture actuelle : blé dur
- **Roche mère** : grès calcaire
- **Coordonnées**: latitude 36°43'06,9"N ; longitude 03°08'29,0"

A titre d'illustration nous présentons ci-dessous la parcelle où se sont déroulés les essais et un profil du sol.



*Figure 35 : photo prise de la parcelle*



*Figure 36 : profil du sol étudié*

Sur le tableau ci-dessous, nous présentons les principales caractéristiques physicochimiques du sol où ont été réalisés les essais.



Profondeur		0-20	20-30	30-40	40-150	150-170	>170
Horizon		A <sub>1</sub>	(B) <sub>1</sub>	(B) <sub>2</sub>	Bt	Bea	Cca
Cakaire total %		0	0	0	0	63,97	39,70
pH eau		7,54	7,01	6,95	7,67		
CE (ds/m)		0,31	0,06	0,07	0,07		
%	C.O	0,98	0,90	0,77	0,32		
	M.O	1,68	1,54	1,32	0,55		
	N	0,10	0,07	0,04	0,03		
C/N		9,80					
mg/kg	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> assimihble	16	13	6,80	4,3		
mg/100 gr	K <sub>2</sub> O assimihble	54,62	49	32,54	24,10		
complexe adsorbant meq /100g	Ca <sup>++</sup>	8,15	7,71	6,17	11,25		
	Mg <sup>++</sup>	6,61	3,56	7,50	6,42		
	K <sup>+</sup>	2,03	1,90	2,35	1,35		
	Na	1,41	0,85	0,22	0,94		
	S	18,20	14,02	16,24	19,96		
	T	18	14	11	24		
Taux de saturation	V%	100	100	100	83,16		
Granulométrie %	A	36	23,5	8	29,5		
	LF	23	38	48	30,5		
	LG	2,20	5,30	5,70	5,6		
	SF	16	11,51	14,82	9,61		
	SG	26,08	26,14	29,16	24,37		
Triangle textural USDA		CLAY LOAM	LOAM	LOAM	CLAY LOAM		

Tableau 19 : Résultats Analytiques du Profil

Avec :

- CE (ds/m) : conductivité électrique
- C.O : carbone organique
- M.O : matière organique
- N : azote total
- C/N : le rapport carbone/ azote
- V% : taux de saturation

## Chapitre 7 : matériels et méthodes

### 7.1. Protocole expérimental

### **7.1.1. Dispositif expérimental**

Le plan du dispositif expérimental est de type factoriel bloc à deux facteurs étudiés avec quatre répétitions.

### **7.1.2. Facteurs étudiés et leurs niveaux**

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

- **Niveau 1 (TC)** : travail conventionnel : charrue à socs + cover-crop + cultivateur à dents
- **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).

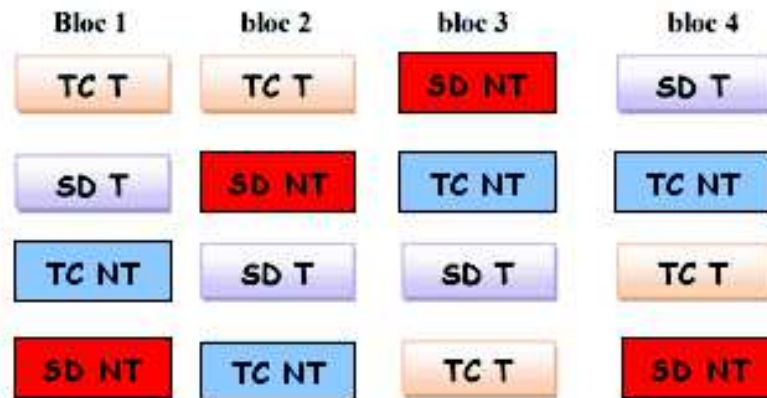
### **7.1.3. Les objets de l'expérimentation**

Nous avons deux types 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 m<sup>2</sup>

- \* **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 ;



- **TC** : travail conventionnel ;
- **SD** : semis direct ;
- **T** : traitement à l'herbicide ;
- **T** : non traité à l'herbicide

Figure 37 : schéma général du dispositif expérimental

## 7.2. Matériels d'étude

### 7.2.1. Matériel de travail du sol

Le tableau suivant montre les caractéristiques de l'ensemble du matériel utilisé pour la préparation du sol.

#### 7.2.1.1. Les outils aratoires

- Charrue à socs

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

- Nombre de soc : 2
- Type : portée
- Profondeur de travail : 25 à 30 cm
- Poids : 240 Kg
- Largeur de travail : 75.5 cm



*Figure 38 : charrue bisoc.*

- Cover-crop

Afin d'affiner les mottes laissées après passage de la charrue, nous avons utilisé un Cover-crop caractérisé par :

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



*Figure 39 : le Cover-crop*

- Outils à dents

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

- Largeur de travail : 275 cm
- Nombre de dents : 6
- Type : porté
- Profondeur de travail : 18 jusqu'à 25 cm

- Poids : 340/370 kg



Figure 40 : cultivateur a dents rigide et ressorts de sécurité.

### 7.2.1.2. Moyens de traction

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

- Puissance : 50 kW (DIN) 68 CV
- Nombre de cylindres : 4 cylindres en ligne
- Cylindrée : 3768 cm<sup>3</sup>
- Régime de la prise de force : 540 – 1000 tr/min
- Empattement : 2150 mm
- Poids total à vide : 2710 kg
- Poids total autorisé en charge : 5000 kg



Figure 41 : tracteur TORPEDO TYPE TD 68.

Source : Fiche technique TORPEDO, INA, (2008)

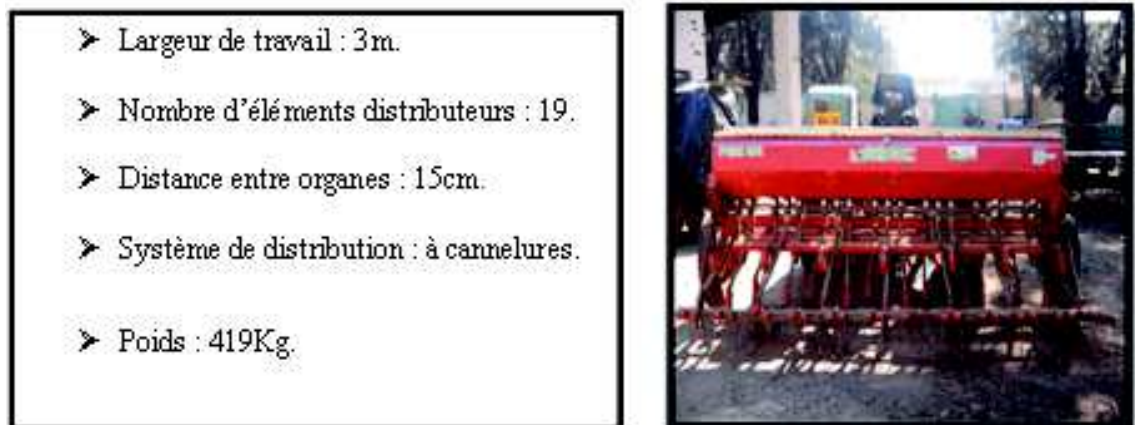
### 7.2.2. Matériel de semis et d'entretien

### **7.2.2.1. 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 graines sont stockées dans une grande trémie. Elles sont mises en terre par des petits socs. L'écartement entre les éléments de semis est très faible (15cm) afin d'assurer une bonne densité de semis. Pour passer de la trémie aux éléments de semis, la graine est transportée par densité (ou par gravité) après passage dans un dispositif de tri par rouleau (semoir mécanique).

Les caractéristiques principales du semoir AGRIC PSM 30 sont résumées ci-dessous :



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 :

profondeurs (cm)	stades	Rp(daN/cm <sup>2</sup> ) SDT	Rp(daN/cm <sup>2</sup> ) SDNT
0 a 10 cm	S1	6,314	5,829
	S2	6,743	6,404
	S3	5,723	6,420
	S4	6,039	5,831
	S5	6,74	6,63
10 a 20cm	S1	10,566	10,426
	S2	11,716	12,316
	S3	9,999	10,240
	S4	10,928	10,666
	S5	11,69	10,90
20 a 30cm	S1	10,911	10,505
	S2	11,938	12,369
	S3	10,263	10,281
	S4	11,356	11,553
	S5	14,08	12,53

Figure 43 : le semoir direct SEMEATO SHM 13

### 7.2.2.2. Le rouleau

Après le semis, nous avons fait un passage de rouleau à une vitesse moyenne de 6 km/h, à fin de tasser légèrement le sol (pour améliorer le contact terre graine, favoriser les remontées d'eau par capillarité et éviter un assèchement trop rapide de la surface), et pour parfaire l'action des outils précédents en diminuant la taille des mottes en surface tout en triant mottes et terre fine. Le tout en évitant les bourrages. Le rouleau lisse utilisé est caractérisé par :

➤ Largeur de travail : 2m
➤ Diamètre : 50cm
➤ Vitesse de travail : 6Km/h



Figure 44 : le rouleau

### 7.2.2.3. Matériel de traitement chimique

Les traitements chimiques ont été effectués 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 : 9 m
➤ Type de buses : à fentes
➤ Type : porté



Figure 45 : Pulvérisateur à jet projeté.

### 7.2.3. Matériel végétal

La variété Vitron est une céréale à paille demi - pleine, courte, soit 90 à 100 cm ; son épi est blanc, compact avec des barbes de couleur brune à noire, présentent sur tout l'épi. Son grain est roux et moyen.

#### 7.2.3.1. Caractéristiques agronomiques

- **Type** : La variété Vitron est un blé de printemps, destiné pour le semis d'hiver. Elle n'exige pas de vernalisation pour épier.
- **Cycle végétatif** : Vitron est semi précoce, de même ou un légèrement plus tardive que la variété Waha. Semée en novembre, la variété Vitron épie la première décade d'avril dans les zones littorales et la fin avril dans les hautes plaines. Vitron est caractérisée par un tallage moyen et une fertilité légèrement plus élevée que Waha ; elle compte en moyenne 50 à 60 grains/épi.
- **Tolérance** : Vitron est peu sensible à l'helminthosporiose et modérément tolérante aux rouilles. Elle présente une bonne tolérance à la [verse](#).
- **Productivité** : La variété Vitron est productive, soit 50 à 60 q/ha en culture sèche, de plus, elle est caractérisée par un PMG (poids de mille grains) élevé.

#### 7.2.3.2. Aspects techniques

- **Zone de culture** : La variété Vitron s'adapte dans toutes les zones céréalières où la pluviométrie annuelle moyenne est supérieure à 400 mm.
- **Période de semis** : Elle varie de la mi-novembre à la fin décembre, selon les régions. Dans les zones à hautes altitudes (plus de 700 mm), le semis se fait tôt (novembre) et il se fait plus tard (décembre) dans les zones littorales.
- **Densité de semis** : Elle varie de 120 à 150 Kg/ha, tout en tenant compte de l'état du lit de semence, de la date et le mode de semis. Le peuplement recherché à la levée est de 150 à 200 plants/m<sup>2</sup>, ce qui correspond à un peuplement épis de 350 à 400 épis/m<sup>2</sup>.
- **Mode et profondeur de semis** : Le semis en lignes est recommandé. La profondeur de semis ne doit pas dépasser 4 cm en zones favorables et peut atteindre 6 cm en zones sèches.



- **Fertilisation** : Il est recommandé d'apporter 90 unités/ha de phosphore en culture sèche et 50 à 70 unités/ha d'azote fractionnées en 2 ou 3 apports (Semis, tallage et montaison).
- **Désherbage** : Vitron est sensible à la compétition des adventices. Il est conseillé de cultiver cette variété sur une parcelle propre à précédent jachère travaillée ou culture sarclée. Une lutte chimique précoce est recommandée avant le fin tallage. (Anonyme, 1998)

Source : Zitouni (2006)

#### 7.2.4. Matériels d'expérimentation

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

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

Nous insisterons beaucoup plus sur le pénétromètre utilisé pour la détermination de la résistance pénétrométrique.

### 7.3. Conduite et suivi de l'étude expérimentale

---

#### 7.3.4. Préparation du sol

Les essais ont été réalisés dans une parcelle de 3196 m<sup>2</sup>, 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.

#### 7.3.5. Le semis

Les dates de semis pour chaque bloc sont :

- Bloc1 : 05/12/2009
- Bloc2 : 06/12/2009
- Bloc3 : 07/12/2009
- Bloc4 : 08/12/2009

#### 7.3.6. 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 fabriquant et les recommandations de l'INPV.

### 7.4. Techniques et méthodes de mesure

---

#### 7.4.1. Les mesures relatives au sol

---

### 7.4.1.1. L'analyse physique du sol

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

Les analyses effectuées au laboratoire et leurs méthodes sont présentées dans le tableau ci-dessous. (Tableau20).

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

Tableau 20 : Analyses de laboratoire et leurs méthodes

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

### 7.4.1.2. Détermination de la teneur en eau du sol

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

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

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

La méthode de mesure directe de la teneur en eau d'un échantillon de sol s'effectue simplement par pesée avant et après étuvage, 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 :

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

Avec:

- $W$ : taux d'humidité (%)
- $M_w$ : masse de l'eau (g)
- $M_s$  : masse du solide (g)
- $M_t$  : masse total du sol (g)



Figure 46 : la tarière.

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

#### 7.4.1.3. Mesure de la densité apparente

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

La méthode la plus couramment utilisée et qu'on a utilisée est la Méthode du carottage : la tarière de volume connu ( $400 \text{ cm}^3$ ), 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 densité apparente qui est en fait un simple rapport masse / volume soit :

$$d_a = \frac{P}{V}$$

Avec :

$d_a$  : la densité apparente (masse volumique sèche) ; P : poids de l'échantillon sec;

et V : volume de l'échantillon de terre.

#### **7.4.1.4. Déterminations de la densité réelle**

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

La densité réelle se calcule alors par la formule suivante :

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

Avec :

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

#### **7.4.1.5. Détermination de la résistance pénétrométrique**

Le pénétromètre semble être un outil approprié. La mesure de la résistance pénétrométrique qu'il détermine est l'un des indicateurs souvent utilisés pour évaluer rapidement l'ampleur du compactage des sols et la localisation de la zone compacte. L'étude menée par Harrad (2001) concernant la modélisation du développement racinaire montre que de tous les facteurs étudiés ; la résistance à la pénétration est le facteur le plus influant de la propagation des racines dans le sol.



Figure 47 : le pénétromètre

L'analyse pénétrométrique donne des informations qui peuvent nous renseigner sur le mode d'action des outils aratoires, la facilité avec laquelle le système racinaire va se développer et ainsi son étendu, le choix des outils à mettre en œuvre s'avérera de ce fait nettement plus efficace.

La mesure de la résistance pénétrométrique est réalisée par le pénétromètre, le mode opératoire consiste à faire pénétrer le cône dans le sol, la pénétration s'accompagne par un déplacement latéral du marqueur (crayon) inscrivant ainsi une courbe sur une feuille millimétrée. L'effort exercé par l'utilisateur ainsi que le ressort de pression reste toutefois des paramètres qui influencent le déplacement latéral du marqueur.

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

La résistance mécanique du sol ne peut être déterminé sans l'étalonnage du pénétromètre, c'est dans ce contexte qu'on a procédé d'abord au tarage du ressort de notre pénétromètre, le tarage consiste à appliquer différentes charges sur le bras du pénétromètre

sur substrat à pénétration nulle (au laboratoire de résistance des matériaux à l'institut national agronomique). Les courbes sont obtenues à partir de charges appliquées et des déplacements correspondants du stylet ; ces dernières sont déterminées au fur et à mesure qu'on augmente les charges.

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

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

Avec :

- F : effort appliqué (daN) ;
- S = surface projetée du cône (cm<sup>2</sup>)

**7.4.1.5.1. Résultats de tarage du pénétromètre**

Tableau 21: Résultats de tarage du pénétromètre.

charge (kg)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
déplacement (cm)	0.4	1.2	2.5	3.1	3.7	5	5.5	5.8	6	6.1

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

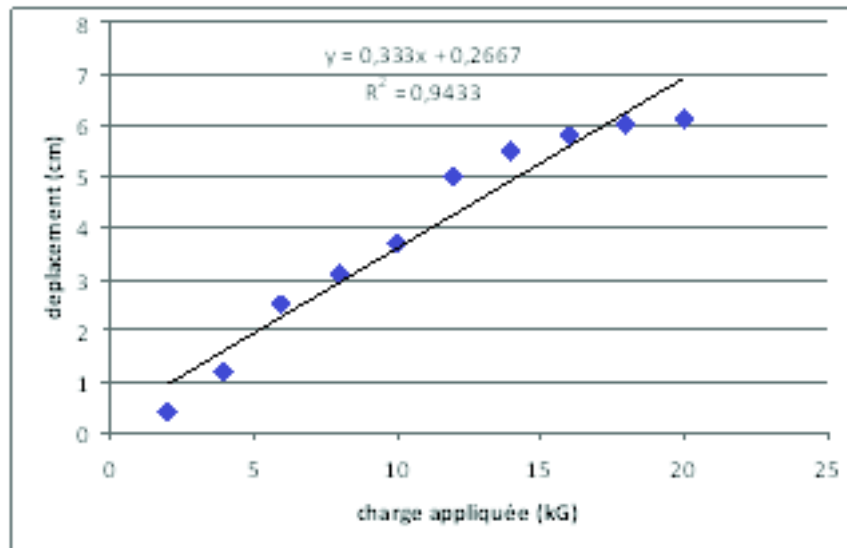


Figure 48 : courbe de tarage du pénétromètre.

Pour obtenir la pression unitaire en daN/cm<sup>2</sup>, on divise la charge trouvée sur la surface projetée du cône (S= 1,767 cm<sup>2</sup>), l'effort sera alors :

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

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

**7.4.2. Méthodologie de mesures relatives à la culture du blé**

**7.4.2.1. 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<sup>3</sup>) 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.



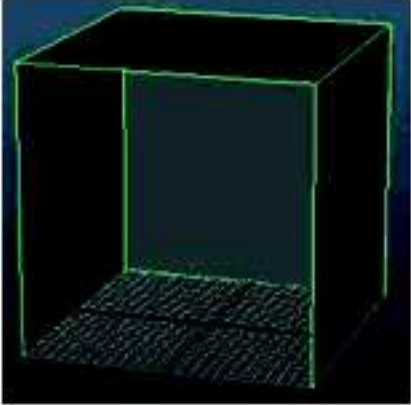
<p>➤ <b>Une pioche.</b></p>	
<p>➤ <b>Un couteau pour dégager la terre</b></p>	
<p>➤ <b>Un cube métallique</b></p>	 <p><b>Dimensions :</b>  <b>Longueur : 20 cm</b>  <b>Largeur : 20 cm</b>  <b>Hauteur : 15cm</b></p>

Tableau 22 : Matériel nécessaire pour déterminer la densité racinaire

#### 7.4.2.1.1. Mesure du taux de germination

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

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

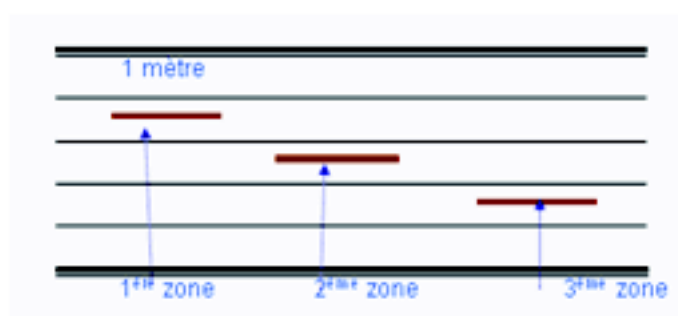
Source : Boulal.H et Al. (2007)

#### **7.4.2.1. 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.

#### **7.4.2.2. 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 49: les trois zones de prélèvements des échantillons dans une parcelle élémentaire de six lignes*

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

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

Source : Kelkoul (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.

#### **7.4.2.3. 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.

#### **7.4.2.4. Mesure du rendement théorique 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 :

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

Avec :

- Rdt : rendement en grains (q/ha)
- Ng/m<sup>2</sup> : le nombre de grains au m<sup>2</sup>
- PMG : le poids de mille grains.

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

### 8.1. Introduction

---

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

### 8.2. Effet des techniques culturales sur l'humidité

---

#### 8.2.1. 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 le tableau 23 et illustrés par la figure 50.

profondeurs (cm)	Stades	H% TCNT	H% SDNT
0 à 10	S1	16,555	12,556
	S2	12,343	12,349
	S3	13,130	13,130
	S4	9,763	14,423
	S5	9,78	10,19
10 à 20	S1	16,429	15,132
	S2	12,140	12,655
	S3	12,733	12,733
	S4	8,860	10,666
	S5	9,84	10,85
20 à 30	S1	16,152	15,322
	S2	12,091	12,700
	S3	12,926	12,926
	S4	14,034	13,610
	S5	10,241	12,20

Tableau 23 : Variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les deux techniques culturales non traitées

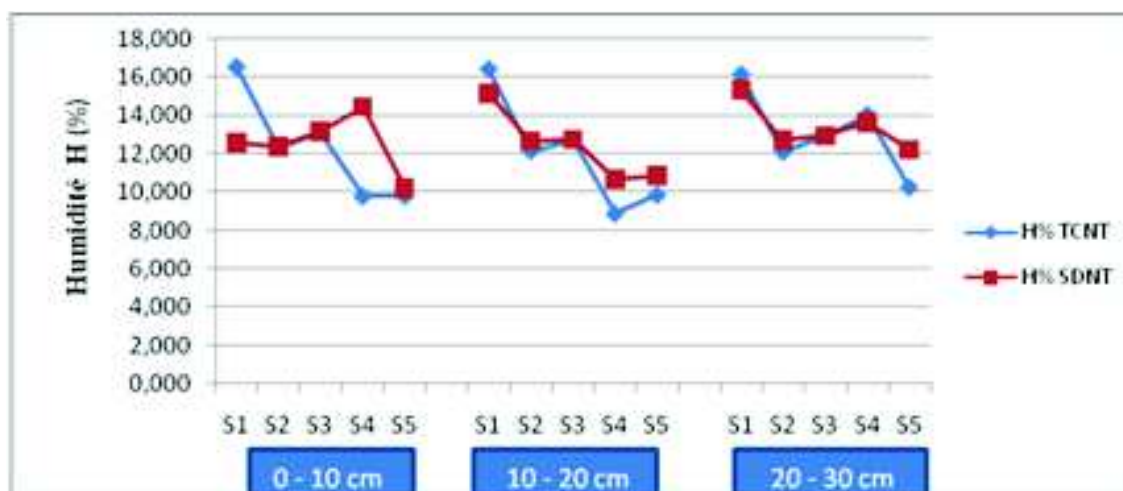


Figure 50: Variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les deux techniques culturales non traitées

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

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

D'après la figure 50, on peut constater qu'au niveau du premier horizon l'humidité du sol diffère pour les deux techniques. D'autres parts, le taux d'humidité atteint son maximum au niveau 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 du stade2 et 3 un rapprochement entre les deux courbes. C'est au stade4 où l'humidité atteint sa plus basse valeur pour T.C, on enregistre 9.79 %, alors que pour le semis direct elle atteint son maximum avec 14,42 %. Au niveau du stade 5, l'humidité se stabilise à 10% pour les deux techniques.

Au niveau du deuxième horizon, le constat n'est pas le même puisque les valeurs de l'humidité sont très rapprochées pour tous les stades. L'humidité atteint son maximum pour les deux techniques au niveau du premier stade, elle atteint les 16% pour T.C et 15% pour le S.D, elle commence à diminuer ensuite pour se stabiliser à 12% ; au niveau du dernier stade on enregistre l'humidité la plus basse pour les deux techniques.

Pour le troisième horizon, le constat est exactement le même pour les trois premiers stades. Pour le stade 4, le travail conventionnel est meilleur car l'humidité enregistrée dépasse celle du semis direct de 2%. Pour le cinquième stade, l'humidité atteint sa plus basse valeur pour les deux techniques ou on enregistre une légère faveur pour le semis direct.

### **8.2.2. 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 mentionnés sur le tableau 24 et illustrés par la figure 51.

profondeurs (cm)	Stades	H% TCT	H% SDT
0 à 10	S1	14,338	13,501
	S2	13,484	12,744
	S3	13,608	12,653
	S4	13,813	13,223
	S5	9,134	10,77
10 à 20	S1	14,210	14,756
	S2	13,202	12,602
	S3	13,164	12,303
	S4	9,483	10,928
	S5	9,70	12,90
20 à 30	S1	14,897	14,915
	S2	12,928	13,379
	S3	13,605	12,247
	S4	14,160	13,908
	S5	10,80	12,32

Tableau 24 : Variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les deux techniques culturales traitées

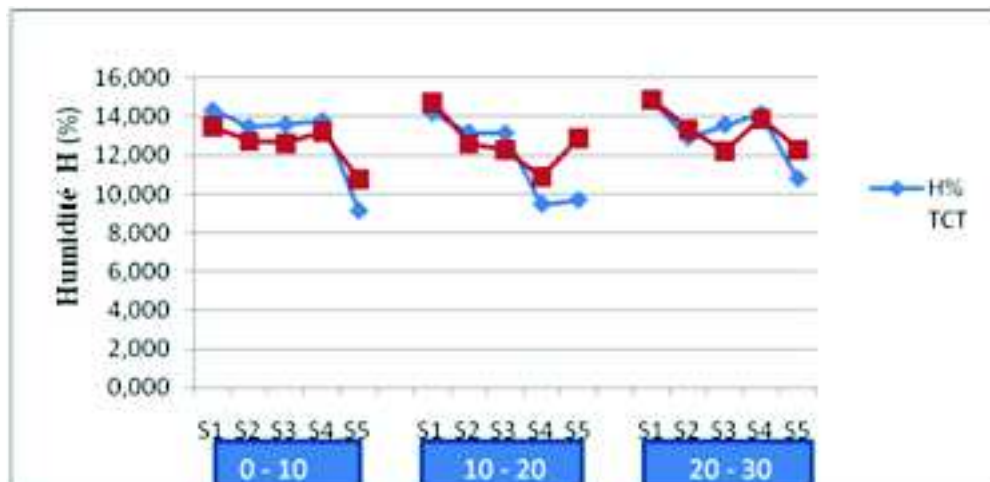


figure 51 : la variation de l'humidite du sol en relation avec la profondeur et le stade vegetatif pour les deux techniques culturales traitees

D'après la figure 51, on peut constater qu'au niveau du premier horizon l'humidité du sol est légèrement meilleure pour la technique conventionnelle excepté le dernier stade ou on enregistre un taux plus élevé pour le semis direct.

Au niveau du deuxième horizon, le constat est le même puisque les valeurs de l'humidité sont très rapprochées pour tous les stades sauf le stade 4 et 5 ou on enregistre un taux nettement plus élevé pour le semis direct cela peut être due à l'évaporation de l'eau dans le sol travaillé.

Pour le troisième horizon, on enregistre des valeurs d'humidité rapprochées pour les deux techniques, et dans cet horizon ou on trouve les valeurs maximales d'humidité pour les deux techniques, on enregistre 14,99% pour la technique conventionnel et 14,92 % pour le semis direct.

De façon générale, les différents passages des outils aratoires par leurs actions ont un effet diminutif sur la teneur en eau dans le sol donc sur la conservation de l'eau dans le sol par rapport au semis direct qui a pour principal avantage la conservation de l'eau dans le sol. Toutefois les résultats montrent que la Technique Conventionnelle et le semis direct ont le même taux d'humidité pour les trois premiers stades, juste qu'au niveau du premier horizon on enregistre un meilleur taux d'humidité pour le travail conventionnel. On constate après que le semis direct se rattrape par rapport au travail conventionnel à partir des deux derniers stades et prends un léger avantage, cela peut être expliqué par l'évaporation de l'eau pour les le sol travaillé.

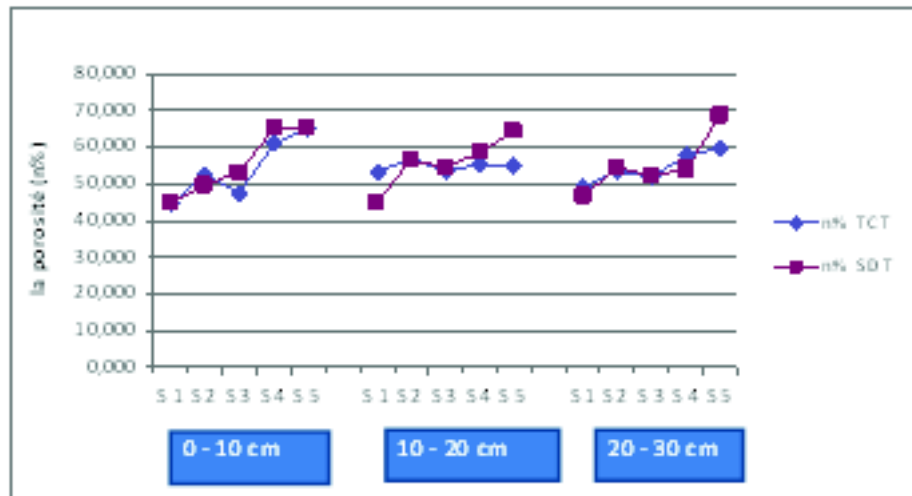
### 8.3. Effet des techniques culturales sur la porosité

#### 8.3.1. 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 des outils aratoires et du semis direct sur la densité apparente et sur la porosité pour le blé traité à herbicide est représentée dans le tableau 25 et la figure 52.

profondeurs (cm)	stades	n% TCT	n% SDT
0 à 10	S1	44,391	44,897
	S2	52,285	49,572
	S3	47,663	53,185
	S4	60,927	65,358
	S5	65,230	65,235
10 à 20	S1	53,204	44,943
	S2	57,226	56,752
	S3	53,508	54,345
	S4	55,556	58,881
	S5	54,970	64,239
20 à 30	S1	49,194	46,605
	S2	53,620	54,394
	S3	51,766	52,517
	S4	58,073	53,924
	S5	59,480	68,601

*Tableau 25 : Variation de la porosité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les deux techniques culturales traitées*



*Figure 52 : 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

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.

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 rapprochées entre les deux courbes 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.

### 8.3.2. 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 le tableau suivant et illustré dans la figure suivante :

profondeurs (cm)	stades	n% TCNT	n% SDNT
0 à 10	S1	44,812	45,102
	S2	53,152	58,576
	S3	52,872	53,037
	S4	62,275	50,193
	S5	40,080	52,360
10 à 20	S1	48,334	45,055
	S2	58,738	57,221
	S3	58,068	55,149
	S4	52,900	56,734
	S5	45,040	60,590
20 à 30	S1	50,934	43,611
	S2	59,537	51,407
	S3	55,134	50,014
	S4	50,813	58,145
	S5	45,040	45,160

Tableau 26: Variation de la porosité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les deux techniques culturales non traitées

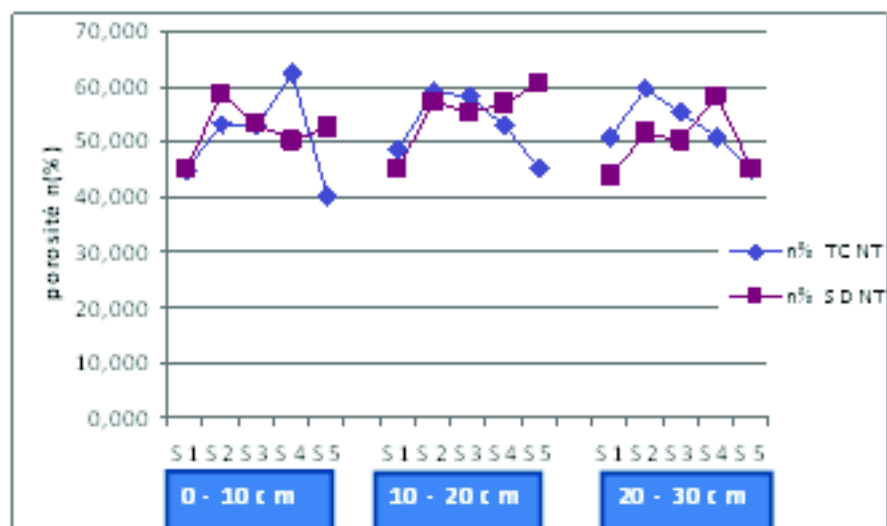


Figure 53 : Variation de la porosité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les deux techniques culturales non traitées

L'analyse de ces résultats montre que :

Pour le premier horizon, on constate que la porosité augmente dans les sols travaillés du 1<sup>er</sup> stade jusqu'au 4<sup>ème</sup> 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<sup>ème</sup> 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<sup>er</sup> stade jusqu'au 3<sup>ème</sup> 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.

Pour le troisième horizon, le constat est exactement le même pour les sols travaillés car on constate que la porosité augmente dans les sols travaillés du 1<sup>er</sup> stade jusqu'au 2<sup>ème</sup> stade ou on enregistre une valeur maximale de 59%, à partir de ce stade la porosité chute sensiblement ou elle atteint une valeur de 45%.

Pour les sols menés en semis direct, on constate que la porosité augmente dans les sols travaillés du 1<sup>er</sup> stade jusqu'au 4<sup>ème</sup> stade ou on enregistre une valeur maximale de 59%, à partir de ce stade la porosité chute sensiblement ou elle atteint une valeur de 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.

## **8.4. Effet des techniques culturales sur la résistance pénétrométrique**

---

### **8.4.1. 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 sont mentionnées sur le tableau 27 et la figure 54.



profondeurs (cm)	stades	Rp(daN/cm <sup>2</sup> ) TCT	Rp(daN/cm <sup>2</sup> ) SDT
0 à 10 cm		4,599	6,314
		6,141	6,743
		4,444	5,723
		4,677	6,039
		6,000	6,74
10 à 20cm		8,686	10,566
		10,454	11,716
		9,265	9,999
		9,483	10,928
		10,13	11,69
20 à 30cm		8,952	10,911
		10,600	11,938
		9,572	10,263
		10,217	11,356
		11,78	14,08

Tableau 27 : Variation de la résistance mécanique du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les deux techniques culturales traitées

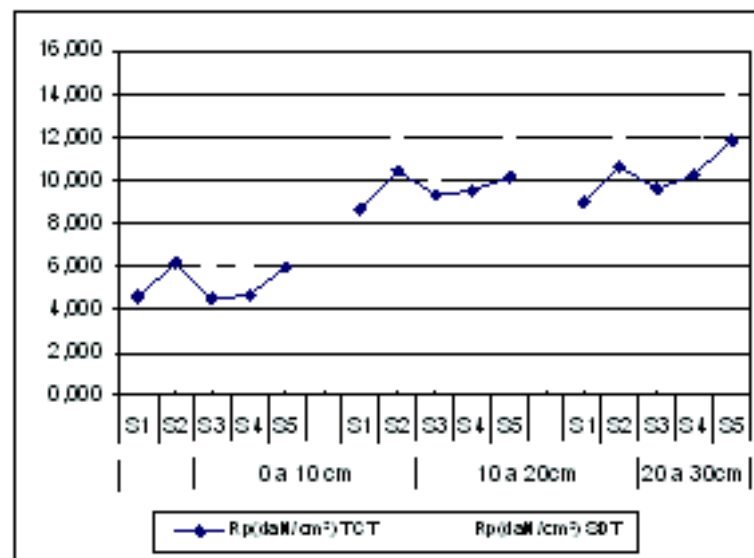


Figure 54 : Variation de la résistance mécanique du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les deux techniques culturales traitées

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  $R_p$  dans les sols travaillés avoisine 10,45 (daN/cm<sup>2</sup>) contre 6,13 (daN/cm<sup>2</sup>) pour le premier horizon alors que du côté des sols menés en semis direct la valeur maximale de  $R_p$  est de 11,71 (daN/cm<sup>2</sup>) contre 6,74 (daN/cm<sup>2</sup>) 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 14,08 (daN/cm<sup>2</sup>) 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.

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

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 le tableau 28 et la figure 55.

profondeurs (cm)	stades	Rp(daN/cm <sup>2</sup> ) TCNT	Rp(daN/cm <sup>2</sup> ) SDNT
0 à 10 cm		2,694	5,829
		6,060	6,404
		5,590	6,420
		3,939	5,831
		7,31	6,63
10 à 20cm		7,335	10,426
		10,789	12,316
		9,919	10,240
		8,860	10,666
		10,63	10,90
20 à 30cm		8,765	10,505
		10,834	12,369
		9,766	10,281
		9,688	11,553
		10,775	12,53

Tableau 28 : Variation de la résistance mécanique du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les deux techniques culturales non traitées

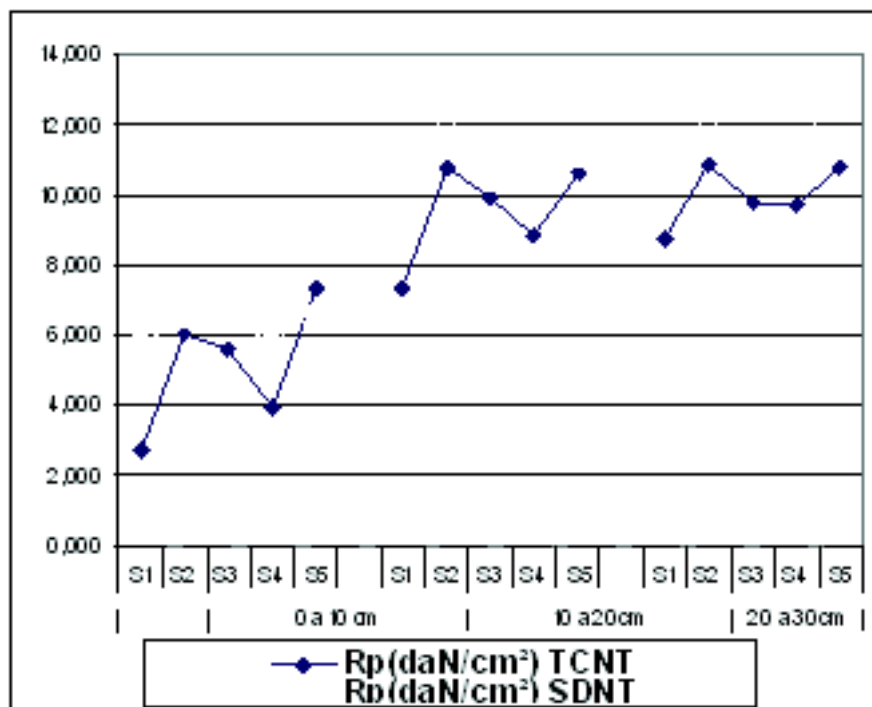


Figure 55 : Variation de la résistance mécanique du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour les deux techniques culturales non traitées

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 Rp dans les sols travaillés avoisine 10,87 (daN/cm<sup>2</sup>) contre 7,31 (daN/cm<sup>2</sup>) pour le premier horizon alors que du côté des sols menés en semis direct la valeur maximale de Rp est de 12,31 (daN/cm<sup>2</sup>) contre 6,63 (daN/cm<sup>2</sup>) 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 10,83 (daN/cm<sup>2</sup>) 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.

Après ces observations et constats, et pour plus 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.

## 8.5. 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 :

Variable	Observations	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation
H (TCT)	15	9,134	14,897	12,702	1,920	0,15
H (SDT)	15	10,771	14,915	12,877	1,163	0,09
H (TCNT)	15	8,860	16,555	12,468	2,519	0,20
H (SDNT)	15	10,191	15,322	12,763	1,489	0,11
n (TCT)	15	44,391	65,230	54,473	5,316	0,09
n (SDT)	15	44,897	68,601	55,563	7,608	0,13
n (TCNT)	15	40,080	62,275	51,849	6,345	0,12
n (SDNT)	15	43,611	60,590	52,157	5,579	0,10
Rp (TCT)	15	4,444	11,780	8,333	2,467	0,29
Rp (SDT)	15	5,723	14,080	9,667	2,636	0,26
Rp (TCNT)	15	2,694	10,834	8,197	2,618	0,31
Rp (SDNT)	15	5,829	12,530	9,526	2,538	0,26

Tableau 29 : la variation de la moyenne de chaque paramètre pour les quatre traitements.

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.

### 8.5.1. La matrice de corrélation entre les différents paramètres [H(%), n (%), Rp (daN/cm<sup>2</sup>)]

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

## ANALYSE DU COMPORTEMENT DU SOL SOUS L'ACTION DE DEUX TECHNIQUES DE MISE EN PLACE D'UNE CULTURE DE CEREALE (*Triticum durum*)

	H% TCT	H% SDT	H% TCNT	H% SDNT	n% TCT	n% SDT	n% TCNT	n% SDNT	Rp (daN/ cm <sup>2</sup> ) TCT	Rp (daN/c m <sup>2</sup> ) SDT	Rp (daN /cm <sup>2</sup> ) TCNT	Rp (daN/c m <sup>2</sup> ) SDNT
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/c m <sup>2</sup> ) TCT	-0,226	0,037	-0,139	-0,074	0,231	0,198	0,057	0,127	1			
Rp (daN/cm <sup>2</sup> ) SDT	-0,207	0,121	-0,090	-0,010	0,187	0,186	-0,002	0,007	0,983	1		
Rp (daN/cm <sup>2</sup> ) TCNT	-0,323	-0,120	-0,262	-0,198	0,299	0,284	0,090	0,292	0,939	0,884	1	
Rp (daN/cm <sup>2</sup> ) SDNT	-0,133	0,129	-0,050	0,029	0,162	0,116	0,122	0,079	0,979	0,977	0,916	1

Tableau 30: représentation des corrélations entre les différents paramètres [H(%), n (%), Rp (daN/cm<sup>2</sup>)]

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.

### 8.5.1.1. 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 ainsi que les traitements d'herbicide 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 bien 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 technique ce qui nous amener 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.

### 8.5.2. 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.

### 8.5.2.1. 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

	<b>Rp (SDNT)</b>	<b>Rp (SDT)</b>	<b>Rp (TCNT)</b>
<b>Rp (SDNT)</b>			
<b>Rp (SDT)</b>	<b>0.9766</b>		
	{15}		
	<b>0.0000</b>		
<b>Rp (TCNT)</b>	<b>0.9162</b>	<b>0.8842</b>	
	{15}	{15}	
	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	
<b>Rp (TCT)</b>	<b>0.9794</b>	<b>0.9827</b>	<b>0.9390</b>
	{15}	{15}	{15}
	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>

Tableau 31 : les corrélations entre différentes valeurs de Rp

- 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-  $R_p$  (SDT) et  $R_p$  (TCT)  $r = 0,9827$
- 2-  $R_p$  (SDNT) et  $R_p$  (TCT)  $r = 0,9794$
- 3-  $R_p$  (SDNT) et  $R_p$  (SDT)  $r = 0,9766$
- 4-  $R_p$  (TCNT) et  $R_p$  (TCT)  $r = 0,9390$
- 5-  $R_p$  (SDNT) et  $R_p$  (TCNT)  $r = 0,9162$
- 6-  $R_p$  (SDT) et  $R_p$  (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.

#### 8.6.2.1.1. La corrélation entre $R_p$ pour TCT et $R_p$ pour SDT

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

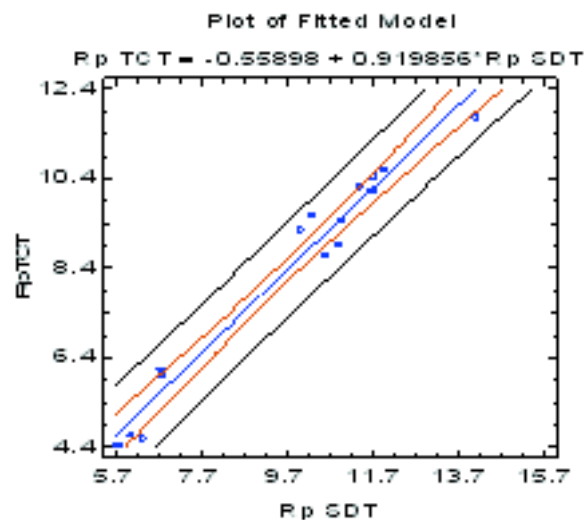


Figure 56 : courbe représentant La corrélation entre  $R_p$  TCT et  $R_p$  SDT

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

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

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. Ces remarques font ressortir l'importance des labours par rapport aux techniques de semis direct. D'ailleurs, les techniques de préparation du sol ont un effet certain sur le développement racinaire, d'où l'intérêt de prendre des précautions pour l'introduction des nouvelles techniques, notamment le semis direct. C'est d'ailleurs pour ces raisons que plusieurs travaux de recherche ont montré l'intérêt de revenir aux travaux profonds, c'est à dire aux méthodes classiques de préparation du sol, au moins tous les trois ans.

Tenant compte de la valeur de  $p$  inférieure à 0,05 dans le tableau d'ANOVA, le modèle établi montre que la relation entre  $R_p$  (TCT) et  $R_p$  (SDT) est fortement significative à un niveau de confiance de 95%. Le coefficient de détermination  $R^2 = 0,9657$  montre que le modèle est expliqué à 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.

#### 8.5.2.1.2. La corrélation entre $R_p$ TCNT et $R_p$ SDNT

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

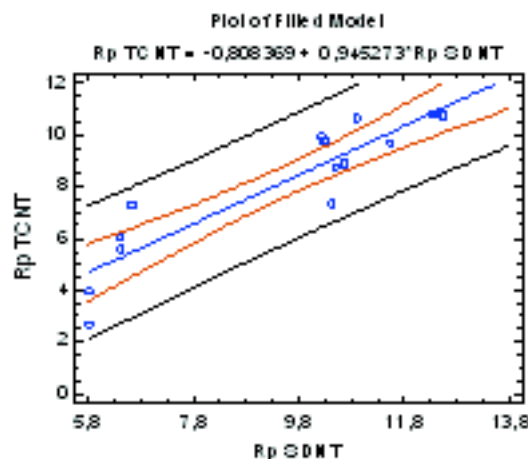


Figure 57 : courbe représentant La corrélation entre  $R_p$  TCNT et  $R_p$  SDNT

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

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

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 Rp (TCNT) et Rp (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.

## **8.6. Analyse de l'effet de la porosité et de l'humidité sur la résistance pénétrométrique (tous paramètres confondus)**

---

### **8.6.1. La technique conventionnelle traitée**

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

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

Cette relation montre 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.

### **8.6.2. La technique conventionnelle non traités**

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


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

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

### **8.6.3. Le semis direct traité**

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


$$Rp (daN/cm^2) = -12,74 + 0,19 * n + 0,94 * H$$

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

#### 8.6.4. 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 :

$$R_p \text{ (daN/cm}^2\text{)} = 10,59 - 0,01*n - 0,02*H$$

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.

### 8.7. 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. Le développement des racines est donc indirectement très dépendant de la technique choisie, se qui se répercutera sur le rendement de la culture.

Afin de compléter notre analyse sur l'effet des techniques culturales sur le développement de la culture blé, nous nous sommes intéressés à la réaction et au développement des racines par rapport à la résistance pénétrométrique obtenue par les deux techniques culturales utilisées et ce qui fera l'objet du prochain chapitre.

## Chapitre 9 : analyse de l'effet des techniques culturales sur le développement racinaire et les composantes du rendement

### 9.1. Introduction

Dans cette partie, nous nous focaliseront sur la partie végétale, on analysera l'évolution de la densité racinaire et le rendement pour chaque technique, on verra les conséquences de l'effet des techniques culturales sur les propriétés du sol tout en s'appuyant sur l'analyse statistique qui nous aidera certainement à dégager l'effet des différentes techniques à mettre en place sur le développement des racines et les conséquences sur le rendement.

### 9.2. Effet des techniques culturales pour la mise en place de la culture sur le développement racinaire

### 9.2.1. pour le cas des parcelles traitées

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 32 et par la figure 58.

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

Tableau 32 : variation de la densité racinaire pour les quatre traitements

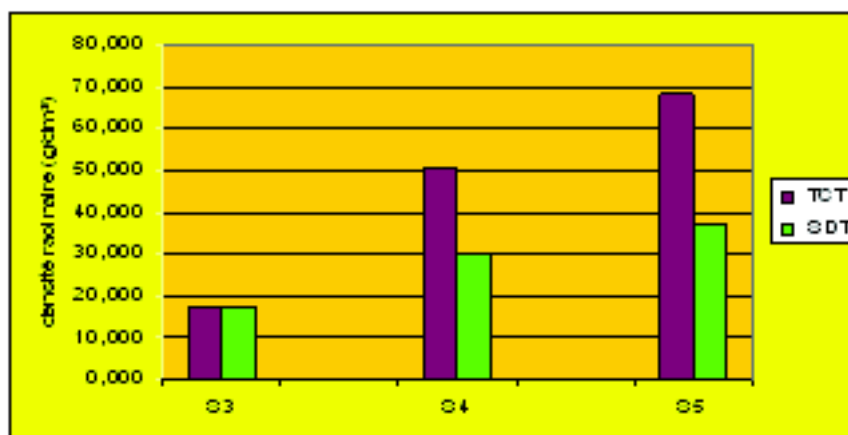


Figure 58 : variation de la densité racinaire pour le travail conventionnel et semis direct traités

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/dm<sup>3</sup>).

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/dm<sup>3</sup>) contre 31,11 (g/dm<sup>3</sup>) pour les sols non travaillés.

Pour le stade 5, le constat est tout à fait le même à part que les valeurs de la densité sont beaucoup plus importante, ce qui est normal fin de développement de la culture. La valeur de la densité atteint 68 (g/dm<sup>3</sup>) pour TCT et 37(g/dm<sup>3</sup>) pour le semis direct. 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 et permet un bon développement racinaire contrairement au semis direct qui a pour principal inconvénient le compactage de la zone arable du sol.

### 9.2.2. pour le cas des parcelles non traitées

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

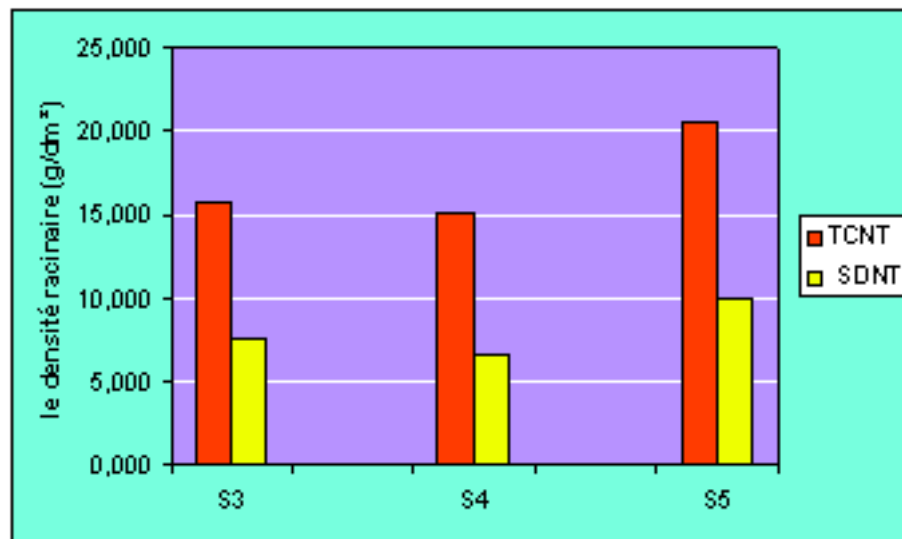


Figure 59 : variation de la densité racinaire pour le travail conventionnel et semis direct non traités

En première observation, cette figure montre clairement que la densité racinaire est nettement supérieure dans les sols labourés.

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/dm<sup>3</sup>) contre 7 (g/dm<sup>3</sup>) 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/dm<sup>3</sup>) contre 6 (g/dm<sup>3</sup>) 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/dm<sup>3</sup>) pour TCT et 9 (g/dm<sup>3</sup>) 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.

### **9.3. Incidence des deux techniques culturales (travail conventionnel 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 deux techniques culturales à savoir le labour 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 :

- Le poids de mille grains;
- Le nombre de grain par épi;
- Le nombre d'épi par mètre carré;
- Et le rendement théorique en grain.

#### **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 :

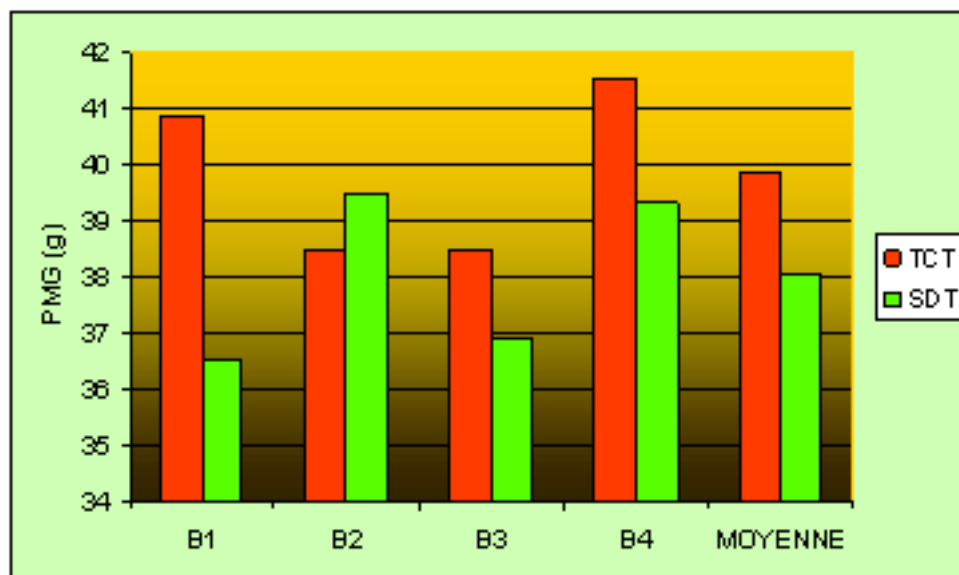


Figure 60 : variation de PMG pour les deux techniques avec traitement d'herbicide

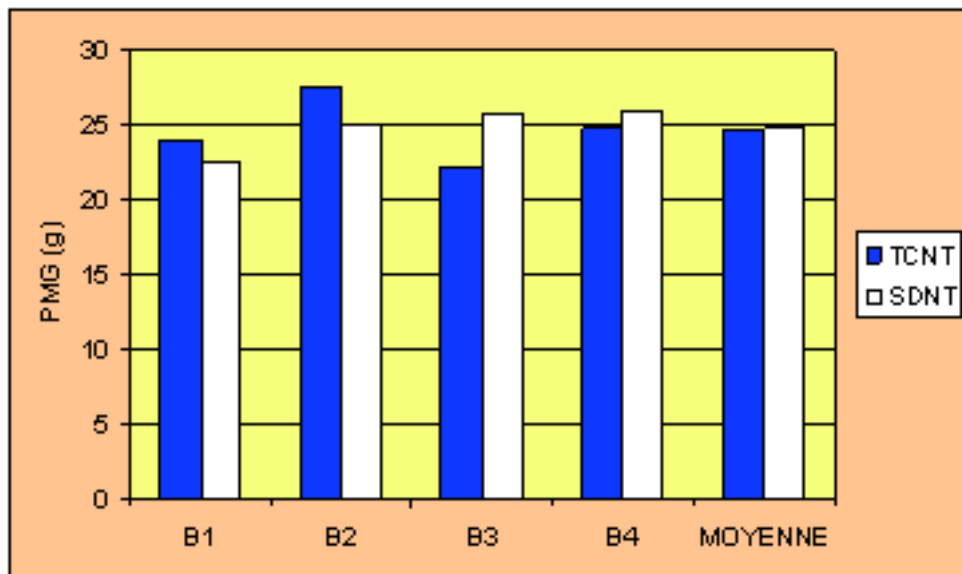


Figure 61 : variation de PMG pour les deux techniques sans traitement d'herbicide

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 où 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.

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			

Tableau 33 : analyse de la variance

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

### 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 :

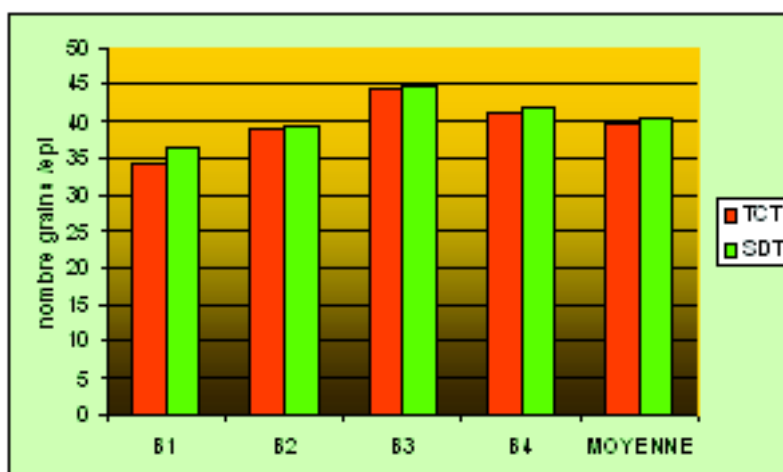


Figure 62 : variation du nombre de grains par épi pour les deux techniques culturales avec traitement à l'herbicide

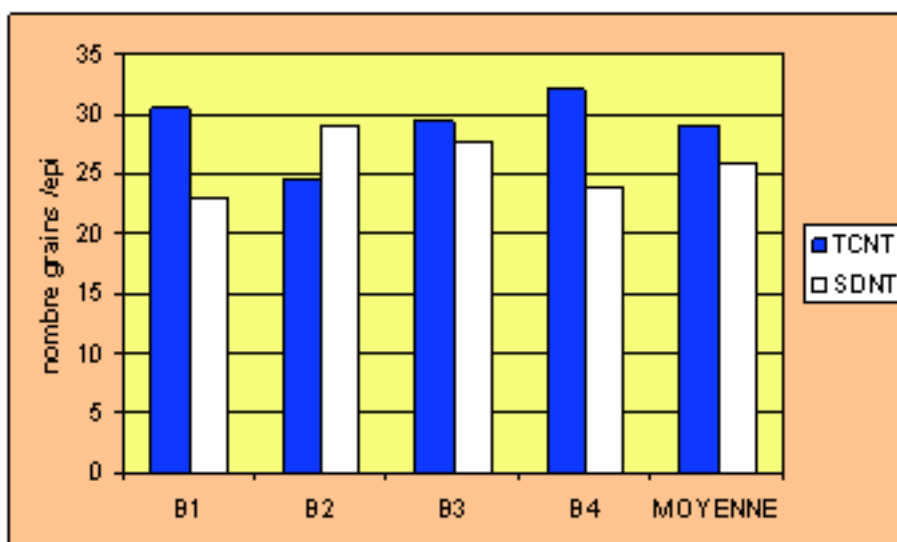


Figure 63 : variation du nombre de grains par épi pour les deux techniques culturales sans traitement à l'herbicide

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.



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 corrigé	3	57,820			

Tableau 34 : analyse de la variance

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 :

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

Tableau 35 : tableau de corrélation du nbre gr/épi

Valeur de r (coefficient de Pearson) compris entre -1 et +1

- (Nombre de mesure = 4)
- Probabilité statistique : p qui examine la signification statistique des corrélations prévues

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

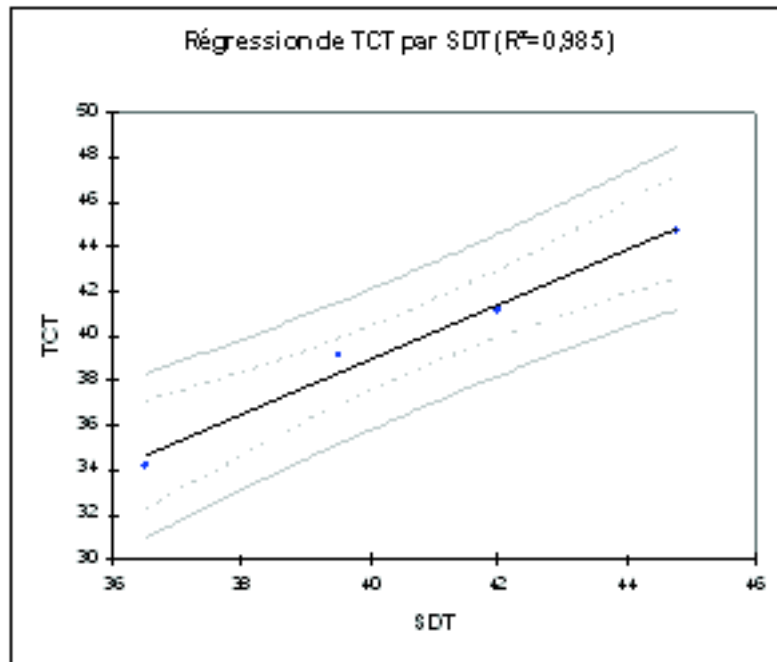


Figure 64 : courbe représentant La corrélation entre nbre gr/épi TCT et nbre gr/épi SDT

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 :

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

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 travaillé 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<sup>2</sup>

Les figures ci-dessous représentent la variation du nombre d'épi par m<sup>2</sup> pour deux techniques culturales avec et sans traitement à l'herbicide :

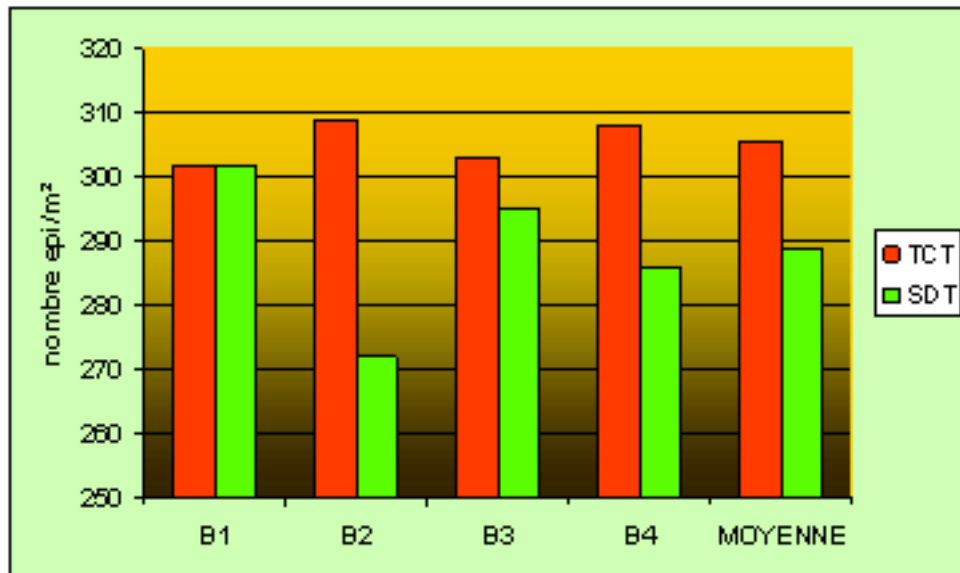


Figure 65 : la variation du nombre d'épi/m<sup>2</sup> pour le TCT et le SDT

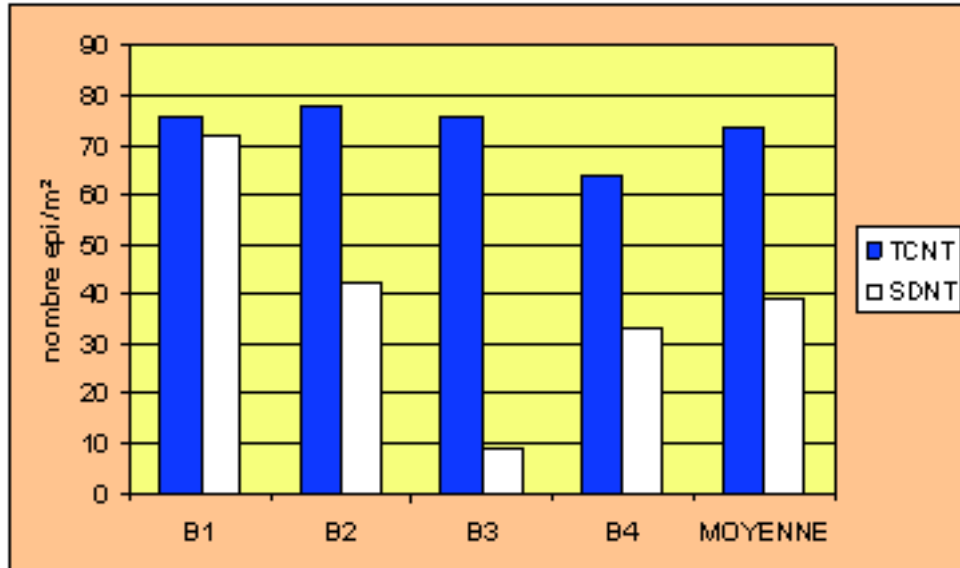


Figure 66 : la variation du nombre d'épi/m<sup>2</sup> pour le TCNT et le SDNT

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 /m<sup>2</sup> pour le TCT, alors qu'on a enregistré une valeur légèrement plus basse pour le SDT de 289 épis/m<sup>2</sup>.

## ANALYSE DU COMPORTEMENT DU SOL SOUS L'ACTION DE DEUX TECHNIQUES DE MISE EN PLACE D'UNE CULTURE DE CEREALE (*Triticum durum*)

En ce qui concerne l'autre figure qui illustre la variation du nombre d'épi par m<sup>2</sup>, 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/m<sup>2</sup>.

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			

Tableau 36 : analyse de la variance

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 théorique (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 :

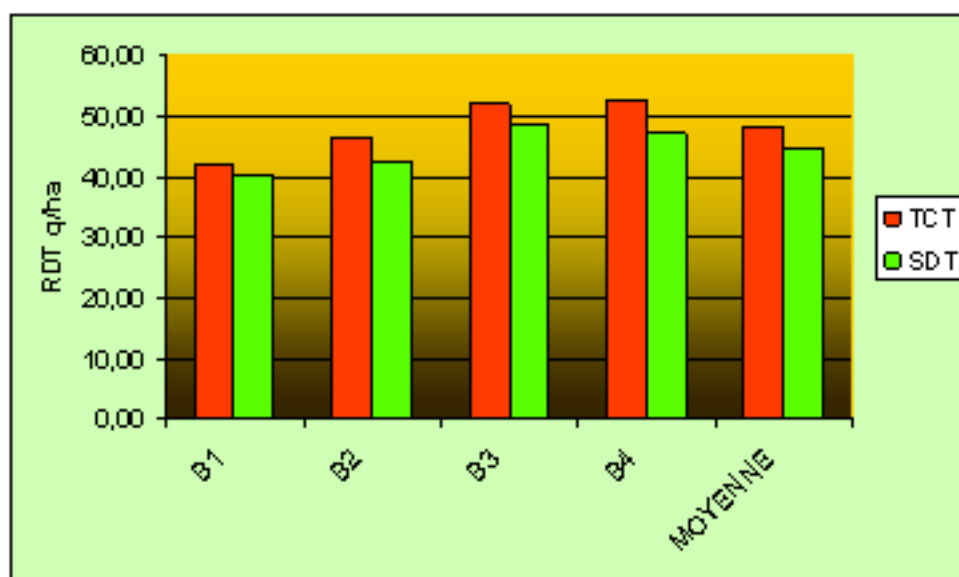


Figure 67 : variation du rendement théorique pour différentes techniques culturale avec traitement à l'herbicide

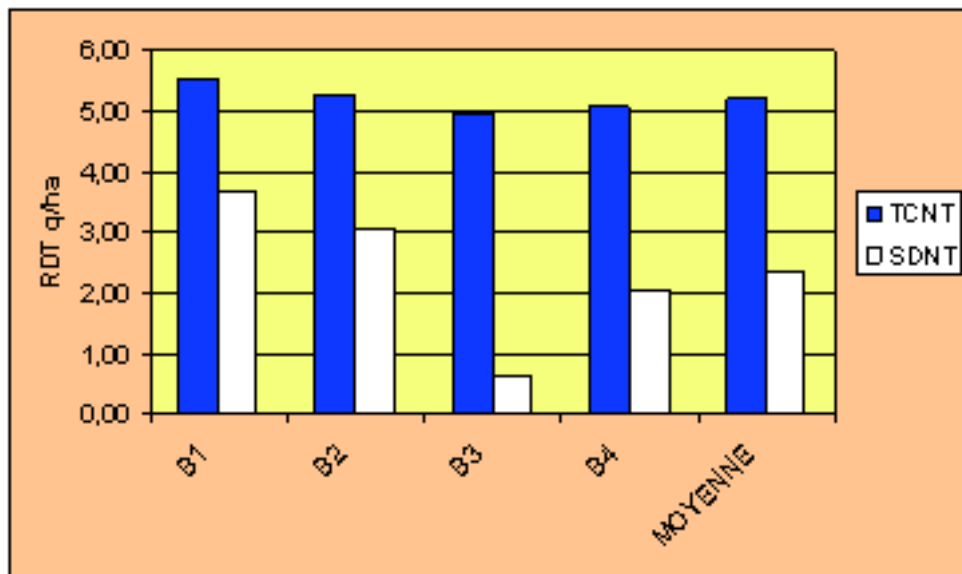


Figure 68 : variation du rendement théorique pour différentes techniques culturale sans traitement à l'herbicide

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 69 : photos prises des parcelles travaillées et celles non travaillées

Pour ce qui est des parcelles non traitées, 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 théorique

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

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

Tableau 37 : La variation de la moyenne du rendement pour les quatre traitements

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 à 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)) :

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

Tableau 38 : représentation des corrélations entre différentes valeurs de RDT

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification  $\alpha=0,05$

- Valeur de  $r$  (coefficient de Pearson) compris entre -1 et +1
- (Nombre de mesure = 4)
- Probabilité statistique :  $p$  qui examine la signification statistique des corrélations prévues

Cette table montre la puissance de corrélation entre les variables étudiées, dans notre cas cette variable est le 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).

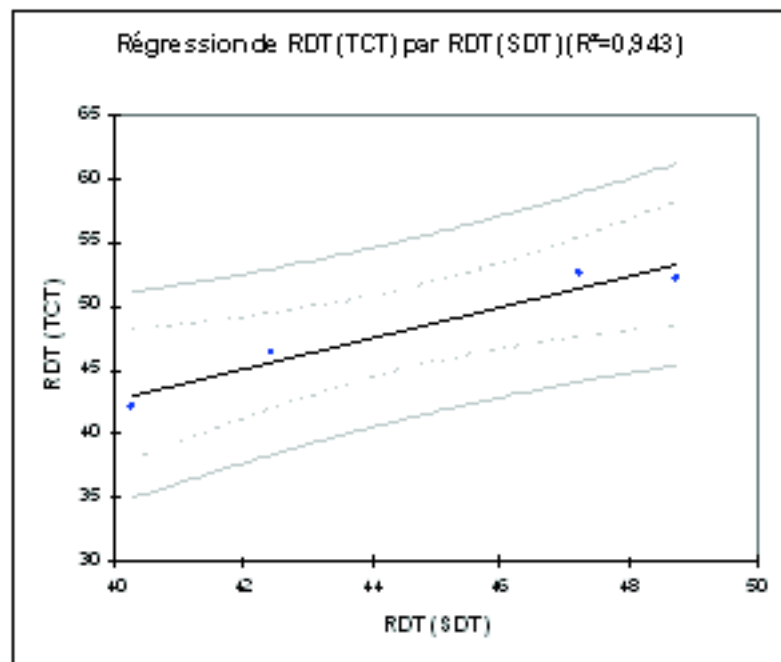


Figure 70 : courbe représentant la corrélation entre RDT (TCT) et RDT (SDT)

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

$$\text{RDT (TCT)} = - 5,67 + 1,21 * \text{RDT (SDT)} \quad \text{avec : } R^2 = 0,943$$

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 du 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.

## 9.4. Conclusion

---

D'après ce chapitre on a pu conclure 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.

D'autres paramètres peuvent influencer le développements des racines ainsi que le rendement de la culture entre autre la présence des mauvaises herbes et ce qui nous a poussé a étudier l'effet du traitement a l'herbicide sur l'évolution des propriétés du sol et les conséquences sur le développement racinaire et le rendement, et ce qui fera l'objet de nos deux prochains chapitres.

# Chapitre 10 : analyse de l'effet du traitement à l'herbicide sur les mauvaises herbes et incidences sur les propriétés du sol (Humidité, porosité, résistance pénétrométrique)

## 10.1. Introduction

---

Dans ce chapitre nous étudierons l'effet du traitement herbicide sur la variation des propriétés physiques du sol telles que : l'humidité du sol, la porosité, et la résistance



mécanique en s'appuyant sur les courbes de variation. Nous allons analyser à l'aide des statistiques l'effet du traitement à l'herbicide sur ces différents paramètres liés au sol.

## 10.2. Effet du traitement herbicide sur l'humidité

### 10.2.1. Variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour la technique de travail du sol classique avec et sans traitement herbicide

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<sup>er</sup> cas avec traitement herbicide et le 2<sup>eme</sup> cas : sans traitement herbicide ; les résultats sont mentionnés sur le tableau suivant et illustrés dans la figure suivante :

profondeurs (cm)	stades	H% TCT	H% TCNT
0 à 10	S1	14,338	16,555
	S2	13,484	12,343
	S3	13,608	13,130
	S4	13,813	9,763
	S5	9,134	9,78
10 à 20	S1	14,210	16,429
	S2	13,202	12,140
	S3	13,164	12,733
	S4	9,483	8,860
	S5	9,70	9,84
20 à 30	S1	14,897	16,152
	S2	12,928	12,091
	S3	13,605	12,926
	S4	14,160	14,034
	S5	10,80	10,241

Tableau 39 : 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

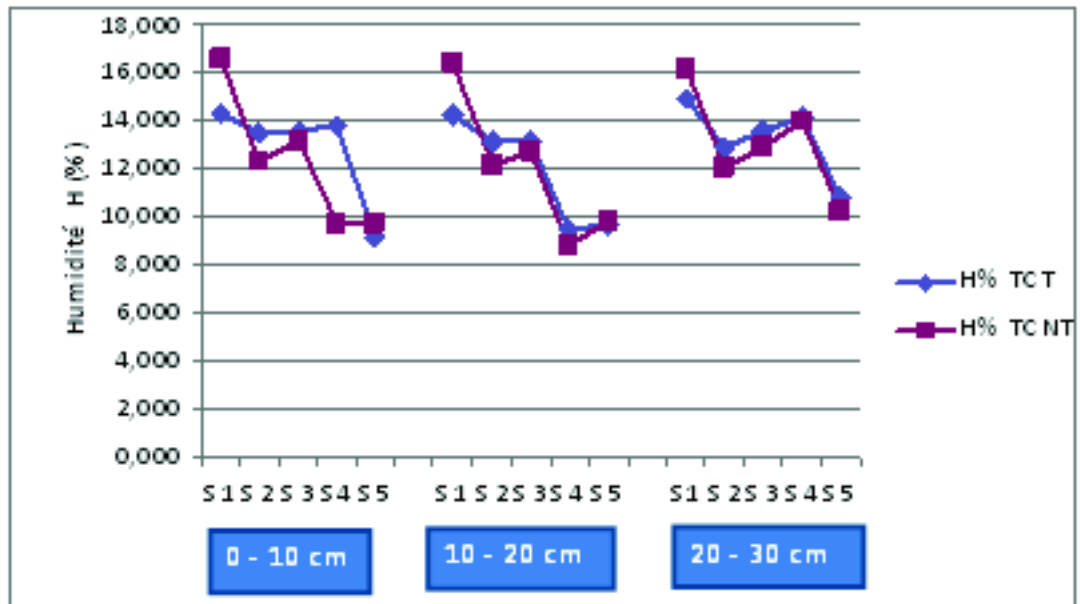


Figure 71 : Variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour la technique de travail du sol classique et les deux traitements d'herbicide

D'après la figure 70, 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<sup>er</sup> stade sont 14,90 pour le T.C.T et 16,16 pour T.C.NT. L'humidité commence à diminuer jusqu'au 2<sup>eme</sup> 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.

### 10.2.2. Variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour la technique de semis direct avec et sans traitement herbicide

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<sup>er</sup> cas avec traitement herbicide et le 2<sup>eme</sup> cas : sans traitement herbicide ; les résultats sont mentionnés sur le tableau suivant et illustrés dans la figure suivante :

profondeurs (cm)	stades	H% SDT	H% SDNT
<b>0 à 10</b>	<b>S1</b>	<b>13,501</b>	<b>12,556</b>
	<b>S2</b>	<b>12,744</b>	<b>12,349</b>
	<b>S3</b>	<b>12,653</b>	<b>13,130</b>
	<b>S4</b>	<b>13,223</b>	<b>14,423</b>
	<b>S5</b>	<b>10,77</b>	<b>10,19</b>
<b>10 à 20</b>	<b>S1</b>	<b>14,756</b>	<b>15,132</b>
	<b>S2</b>	<b>12,602</b>	<b>12,655</b>
	<b>S3</b>	<b>12,303</b>	<b>12,733</b>
	<b>S4</b>	<b>10,928</b>	<b>10,666</b>
	<b>S5</b>	<b>12,90</b>	<b>10,85</b>
<b>20 à 30</b>	<b>S1</b>	<b>14,915</b>	<b>15,322</b>
	<b>S2</b>	<b>13,379</b>	<b>12,700</b>
	<b>S3</b>	<b>12,247</b>	<b>12,926</b>
	<b>S4</b>	<b>13,908</b>	<b>13,610</b>
	<b>S5</b>	<b>12,32</b>	<b>12,20</b>

Tableau 40 : 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

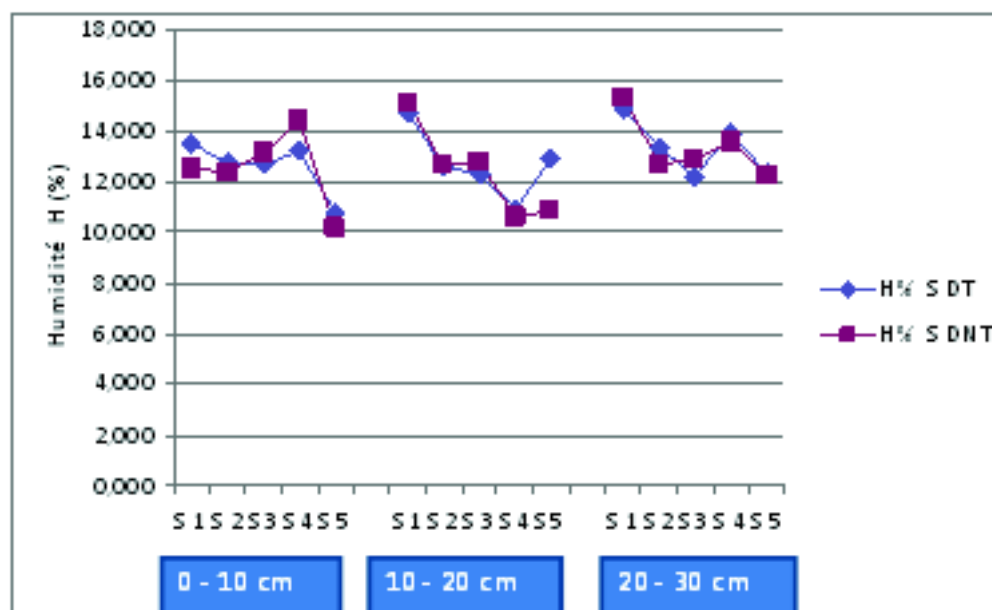


Figure 72: Variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour la technique de semis direct et les deux traitements d'herbicide

Ces résultats montrent que :

Pour le premier horizon, on constate que l'humidité augmente dans les sols non traités du 1<sup>er</sup> stade jusqu'au 4<sup>ème</sup> stade où 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 à partir du premier stade atteignant une valeur de 12,34 %, à partir du 2<sup>ème</sup> stade on enregistre une augmentation de l'humidité jusqu'au 4<sup>ème</sup> 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<sup>ème</sup> 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 le cycle de la plante avance, jusqu'au stade 4 où 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<sup>er</sup> stade sont 14,91 pour le S.D.T et 15,32 % pour S.D.NT. L'humidité commence à diminuer jusqu'au 2<sup>ème</sup> stade ; où elle va se stabiliser relativement pour les sols traités et non traités jusqu'au stade 4 où 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 des mauvaises herbes qui créent généralement un environnement humide ce qui va se répercuter sur la résistance du sol qui sera certainement réduite.

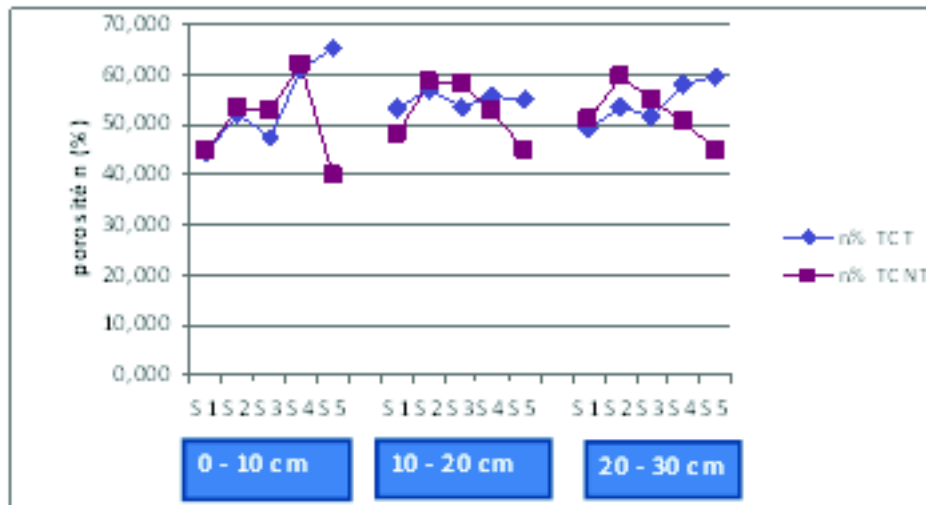
### 10.3. Effet du traitement herbicide sur la porosité

#### 10.3.1. 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

Les résultats de ces essais sont consignés dans le tableau suivant et illustrés par la figure ci-dessous :

Profondeurs (cm)	stades	n% TCT	n% TCNT
0 à 10	S1	44,391	44,812
	S2	52,285	53,152
	S3	47,663	52,872
	S4	60,927	62,275
	S5	65,230	40,080
10 à 20	S1	53,204	48,334
	S2	57,226	58,738
	S3	53,508	58,068
	S4	55,556	52,900
	S5	54,970	45,040
20 à 30	S1	49,194	50,934
	S2	53,620	59,537
	S3	51,766	55,134
	S4	58,073	50,813
	S5	59,480	45,040

*Tableau 41: 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*



*Figure 73 : 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 traité du 1<sup>er</sup> stade jusqu'au 4<sup>ème</sup> 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<sup>ème</sup> 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<sup>er</sup> stade jusqu'au 3<sup>ème</sup> 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 traité du 1<sup>er</sup> stade jusqu'au 4<sup>ème</sup> 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<sup>er</sup> stade

jusqu'au 2<sup>ème</sup> 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<sup>ème</sup> 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.

### 10.3.2. 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

Pour cette variation, les résultats sont représentés sur le tableau suivant et illustré dans la figure suivante :

profondeurs (cm)	stades	n% SDT	n% SDNT
0 à 10	S1	44,897	45,102
	S2	49,572	58,576
	S3	53,185	53,037
	S4	65,358	50,193
	S5	65,235	52,360
10 à 20	S1	44,943	45,055
	S2	56,752	57,221
	S3	54,345	55,149
	S4	58,881	56,734
	S5	64,239	60,590
profondeurs (cm)	stades	n% SDT	n% SDNT
20 à 30	S1	46,605	43,611
	S2	54,394	51,407
	S3	52,517	50,014
	S4	53,924	58,145
	S5	68,601	45,160

Tableau 42 : 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.

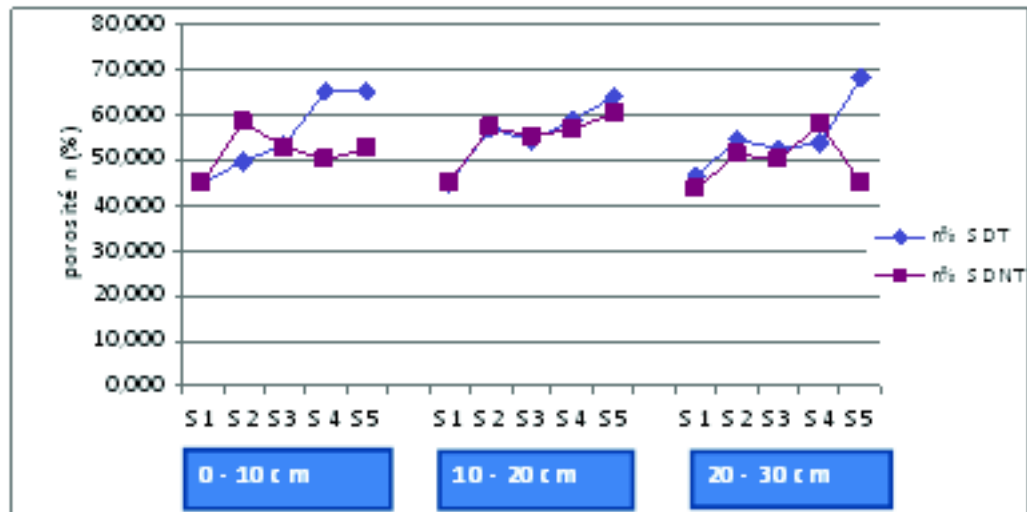


Figure 74 : la variation de la porosité du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif pour la technique de semis direct avec et sans traitement herbicide.

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 traité du 1<sup>er</sup> stade jusqu'au 4<sup>ème</sup> stade ou on enregistre une valeur maximale de 65%, la porosité ce 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, a 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 entres 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<sup>er</sup> stade jusqu'au 5<sup>ème</sup> 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<sup>er</sup> stade jusqu'au 4<sup>ème</sup> 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 a mesure que la plante se développe jusqu'à atteindre une valeur maximale au niveau du stade maturation de 68%.

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 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 où 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.

## 10.4. Effet du traitement herbicide sur la résistance pénétrométrique

### 10.4.1. 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

Les résultats de la variation de la résistance pénétrométrique sont représentés sur le tableau suivant et illustré dans la figure suivante :

profondeurs (cm)	stades	Rp (daN/cm <sup>2</sup> ) SDT	Rp (daN/cm <sup>2</sup> ) SDNT
0 a 10 cm	S <sup>1</sup>	6,314	5,829
	S <sup>2</sup>	6,743	6,404
	S <sup>3</sup>	5,723	6,420
	S <sup>4</sup>	6,039	5,831
	S <sup>5</sup>	6,74	6,63
10 a 20cm	S <sup>1</sup>	10,566	10,426
	S <sup>2</sup>	11,716	12,316
	S <sup>3</sup>	9,999	10,240
	S <sup>4</sup>	10,928	10,666
	S <sup>5</sup>	11,69	10,90
20 a 30cm	S <sup>1</sup>	10,911	10,505
	S <sup>2</sup>	11,938	12,369
	S <sup>3</sup>	10,263	10,281
	S <sup>4</sup>	11,356	11,553
	S <sup>5</sup>	14,08	12,53

Tableau 43 : 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.



*Figure 75 : 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/cm<sup>2</sup>) 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/cm<sup>2</sup>) et 6 (daN/cm<sup>2</sup>).
- 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 2ème 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/cm<sup>2</sup>) au niveau du stade (5) pour les sols menés en semis direct et traités. Les valeurs de la résistance mécanique sont très rapprochées entre les deux types de sols traités et non traités.

Après ces observations et constats, et pour plus de précision, une analyse statistique a été réalisée, elle va confirmer si le traitement herbicide a un effet ou non 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.

## **10.5. L'analyse statistique de l'effet du traitement herbicide sur la résistance pénétrométrique du sol**

---

### **10.5.1. 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.

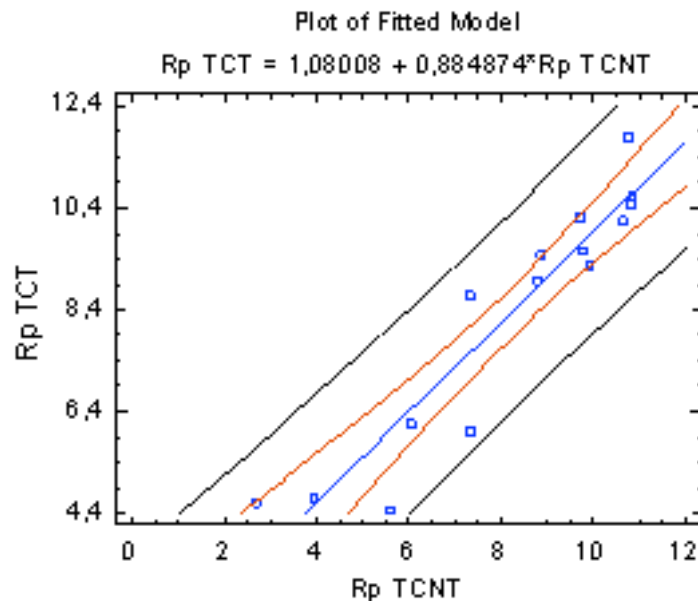


Figure 76 : courbe représentant la corrélation entre Rp TCT et Rp TCNT

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

$$R_p \text{ (TCT)} = 1,08 + 0,88 * R_p \text{ (TCNT)} \quad R\text{-squared} = 0,8817$$

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 à un niveau de confiance de 95%. Le coefficient de détermination  $R^2 = 0,8817$  montre que le modèle est expliqué à 88.17 %. Le coefficient de corrélation est égal à 0,94, indiquant une relation relativement forte entre les variables.

### 10.5.2. 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.

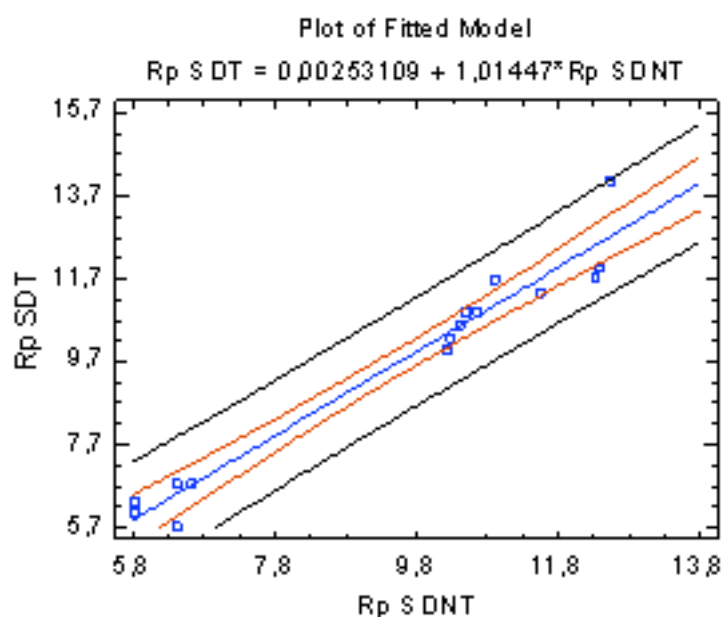


Figure 77 : courbe représentant la corrélation entre Rp SDT et Rp SDNT

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

$$Rp \text{ SDT} = 0,002 + 1,014 * Rp \text{ (SDNT)} \quad R^2 = 0,9537 \%$$

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 à un niveau de confiance de 95%. Le coefficient de détermination  $R^2 = 0,9537$  montre que le modèle est expliqué à 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.

## 10.6. conclusion

D'une façon générale, on peut conclure que le traitement à l'herbicide a un effet sur les propriétés du sol, et c'est ce qui a été confirmé par l'analyse statistique : la résistance mécanique est faible dans les sols non traités, cela est due 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.

Reste à savoir maintenant si la présence des mauvaises herbes contribue ou non au développement de la plante, ce que nous allons tenter de savoir en analysons la variation

de la densité racinaire tout au long du cycle végétatif ainsi que le rendement obtenu, et ce qui fera l'objet du prochain chapitre.

## Chapitre 11: analyse de l'effet du traitement à l'herbicide sur le développement racinaire et les composantes du rendement

### 11.1. Introduction

Comme il a été mentionné dans le chapitre précédent, le traitement à l'herbicide a un effet sur les propriétés du sol mais son effet direct sur le développement de la plante reste à confirmer. Dans ce chapitre, on va essayer d'établir un constat dans ce contexte et de confirmer ou d'infirmer l'hypothèse que le traitement à l'herbicide a un effet sur le développement racinaire ainsi que le rendement de la culture avec tous ces composantes.

### 11.2. Effet du traitement herbicide sur le développement racinaire

Les résultats obtenus, montrant la densité racinaire dans le sol, sont consignés et illustrés respectivement dans le tableau 30 et par la figure 55.

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

Tableau 44 : variation de la densité racinaire pour les quatre traitements

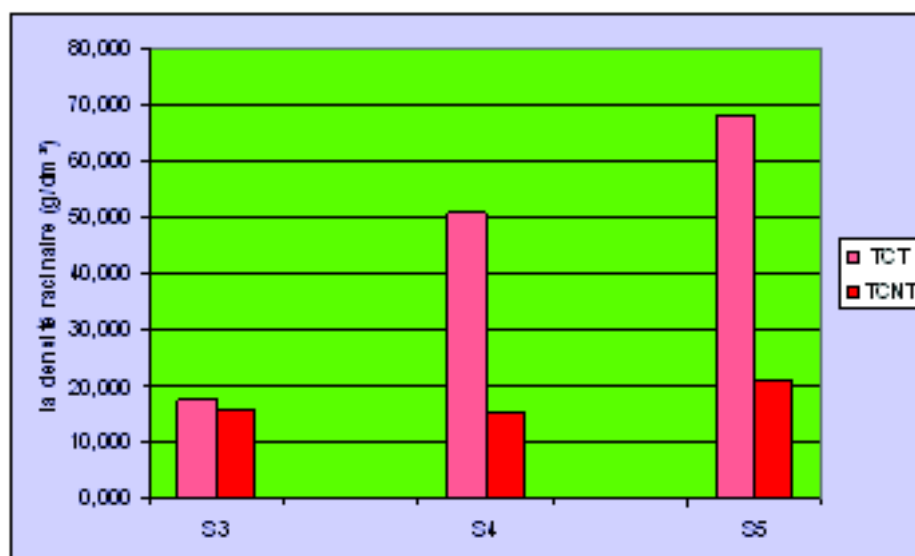


Figure 78 : variation de la densité racinaire pour TCT et TCNT

La figure ci-dessus représente la variation de la densité racinaire en fonction du traitement d'herbicide.

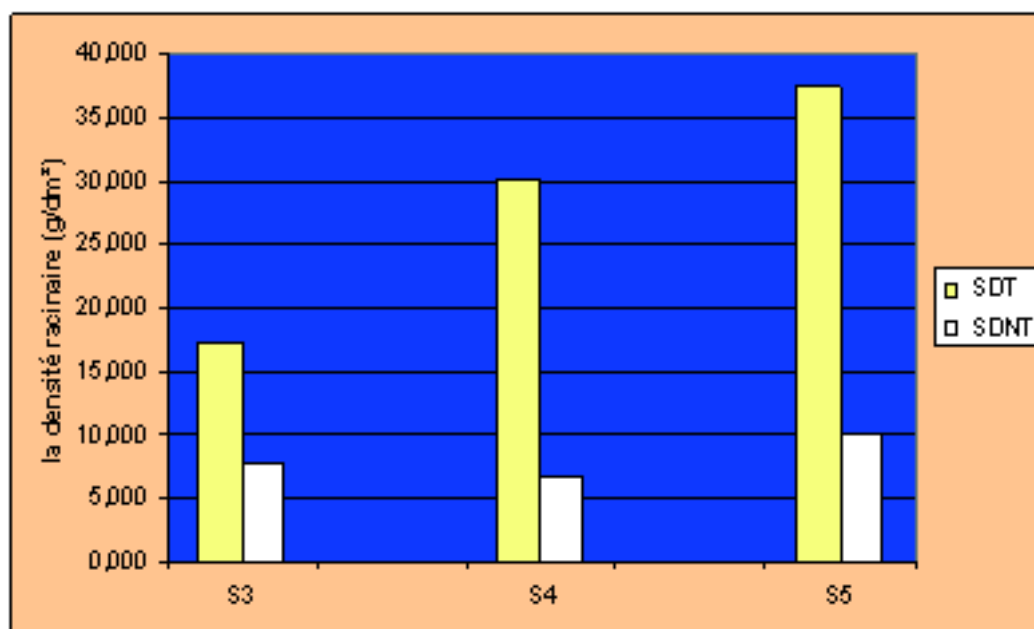
Cette figure montre clairement que la densité racinaire est nettement supérieure dans les sols traités.

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/dm<sup>3</sup>).

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/dm<sup>3</sup>) contre 15,11 (g/dm<sup>3</sup>) 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/dm<sup>3</sup>) pour TCT et 20 (g/dm<sup>3</sup>) pour TCNT.

La variation de la densité racinaire pour SDT et SDNT est illustrée dans la figure suivante :



*Figure 79 : 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/dm<sup>3</sup>) contre 7 (g/dm<sup>3</sup>) 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/dm<sup>3</sup>) contre 6 (g/dm<sup>3</sup>) 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 importante. La valeur de la densité atteint 37 (g/dm<sup>3</sup>) pour SDT et 10 (g/dm<sup>3</sup>) 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 vu 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.

### 11.3. Incidence des deux techniques culturales (travail conventionnel et semis direct) sur le rendement et ses composantes

#### 11.3.1. 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.

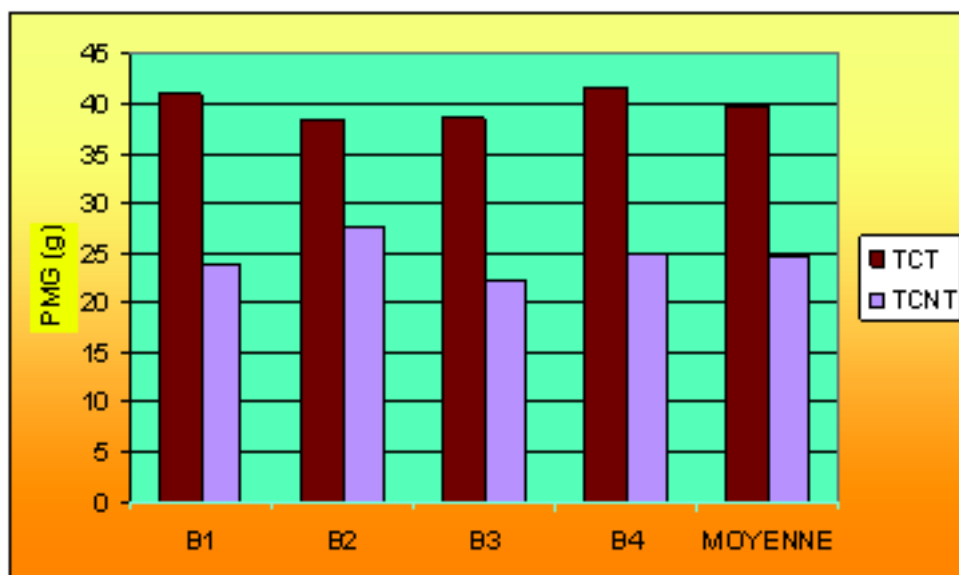


Figure 80 : variation du PMG pour les parcelles travaillées en fonction du traitement herbicide

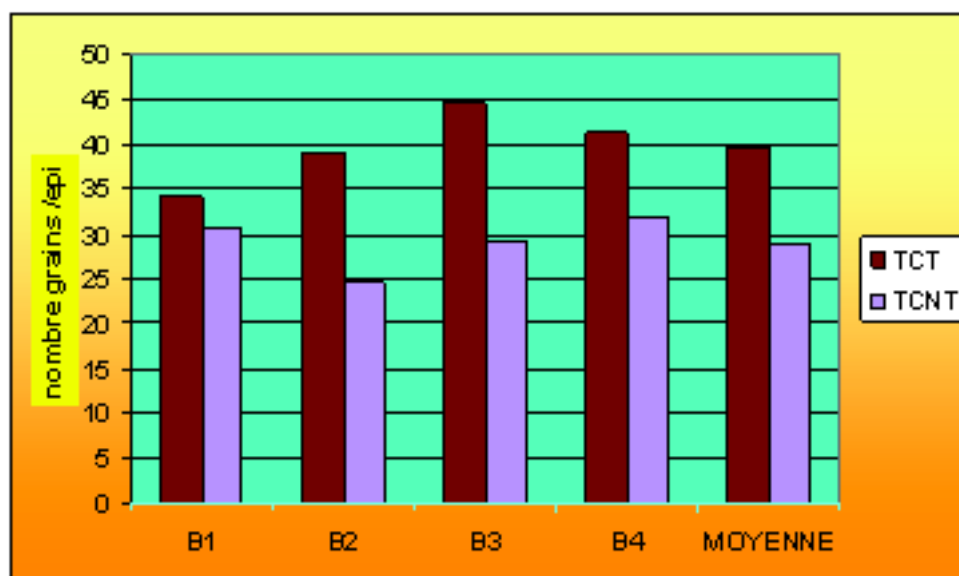


Figure 81 : variation du PMG pour les parcelles non travaillées en fonction du traitement herbicide

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, où 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, où 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.

### 11.3.1.1. 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.

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			

Tableau 45 : analyse de la variance

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

### 11.3.2. 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.



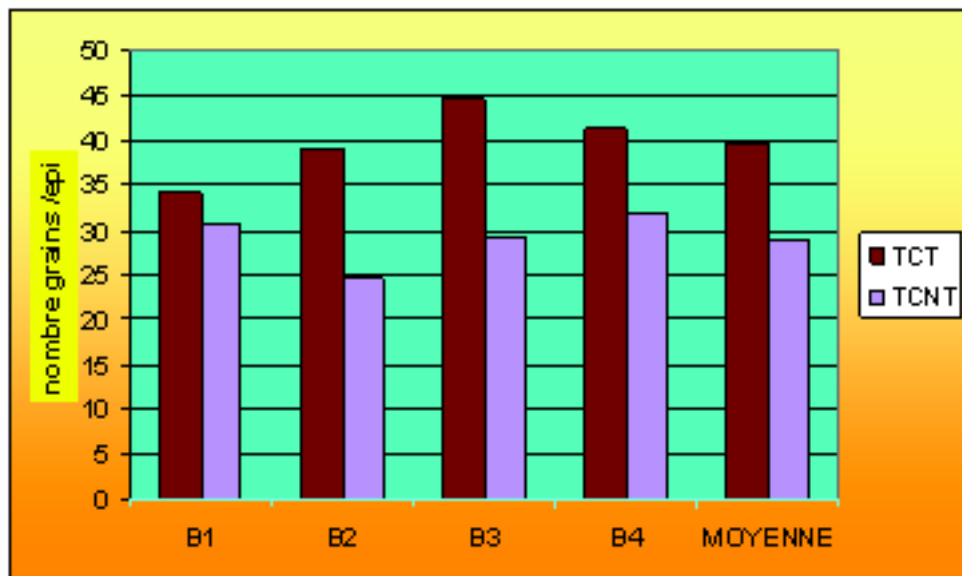


Figure 82 : variation du nombre de grains par épi en fonction du traitement herbicide pour les parcelles travaillées

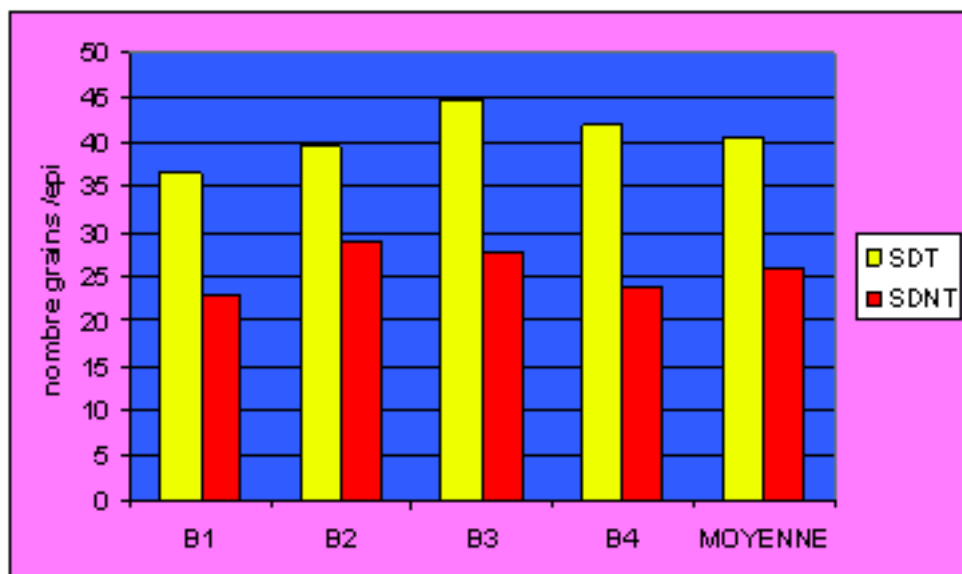


Figure 83: variation du nombre de grains par épi en fonction du traitement herbicide pour les parcelles non travaillées

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 traitées.

L'analyse de la variance montre qu'il n'y a pas d'effet du traitement herbicide sur le nombre de grains par épi.

**ANALYSE DU COMPORTEMENT DU SOL SOUS L'ACTION DE DEUX TECHNIQUES DE MISE EN PLACE D'UNE CULTURE DE CEREALE (*Triticum durum*)**

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			

Tableau 46: analyse de la variance

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

**11.3.3. L'incidence du traitement herbicide sur le nombre d'épi par m<sup>2</sup>**

Les figures ci-dessous représentent la variation du nombre d'épi par m<sup>2</sup> pour deux techniques culturales avec et sans traitement à l'herbicide :

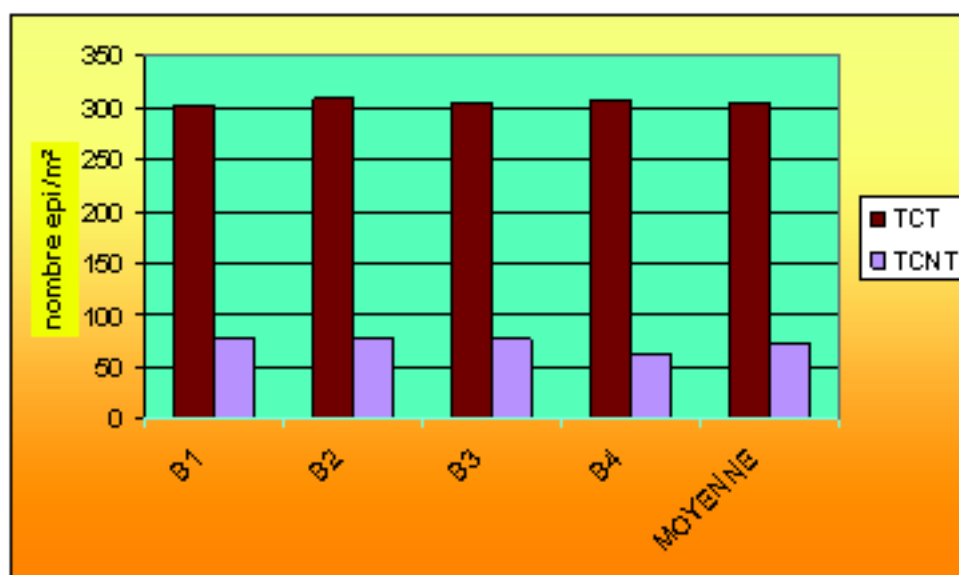


Figure 84 : la variation du nombre d'épi/m<sup>2</sup> pour le TCT et le TCNT

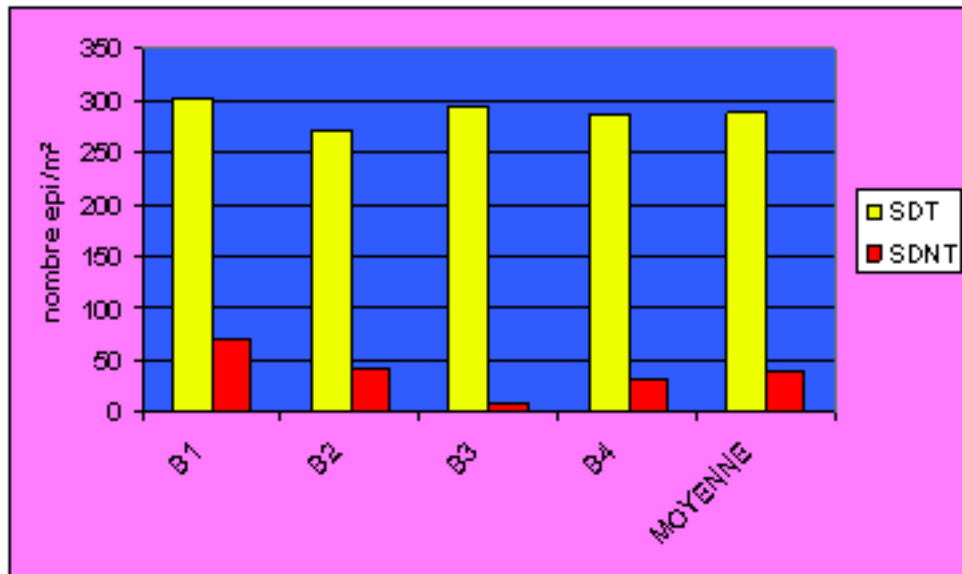


Figure 85 : la variation du nombre d'épi/m<sup>2</sup> pour le SDT et le SDNT

Les figures ci dessus montrent que le meilleur peuplement a été obtenu au niveau des parcelles traitées avec une moyenne de 306 épis /m<sup>2</sup> pour le TCT, alors qu'on a enregistré une valeur largement plus basse pour le TCNT : 74 épis/m<sup>2</sup>, alors que le nombre d'épi/m<sup>2</sup> dans parcelles menées en semis direct et traité atteint une moyenne de 289 épis/m<sup>2</sup> conte 39 épis/m<sup>2</sup> 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/m<sup>2</sup>.

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			

Tableau 47 : analyse de la variance

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 amener 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.

### 11.3.4. L'incidence du traitement herbicide sur le rendement théorique du blé

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 :

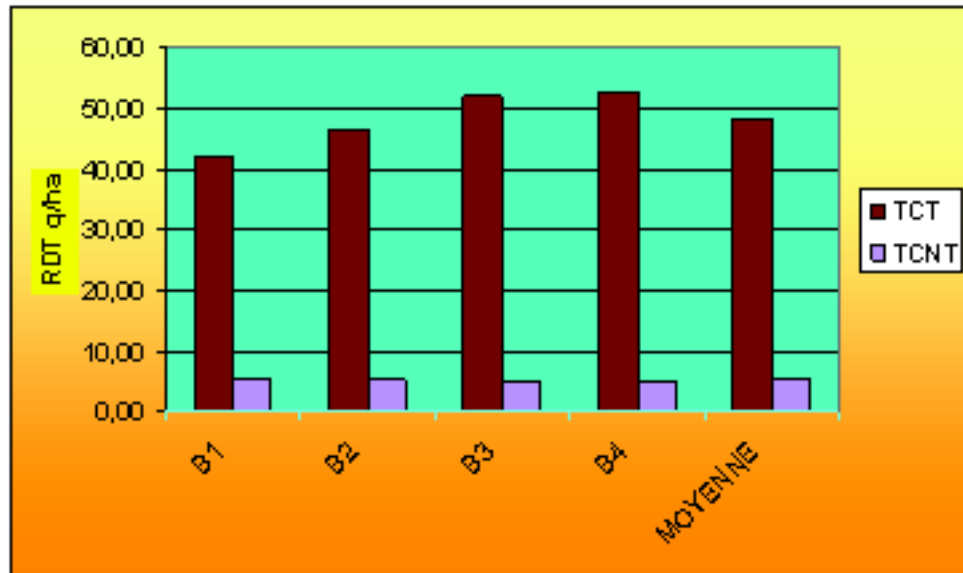


Figure 86 : variation du rendement théorique pour les sols travaillés en fonction du traitement à l'herbicide

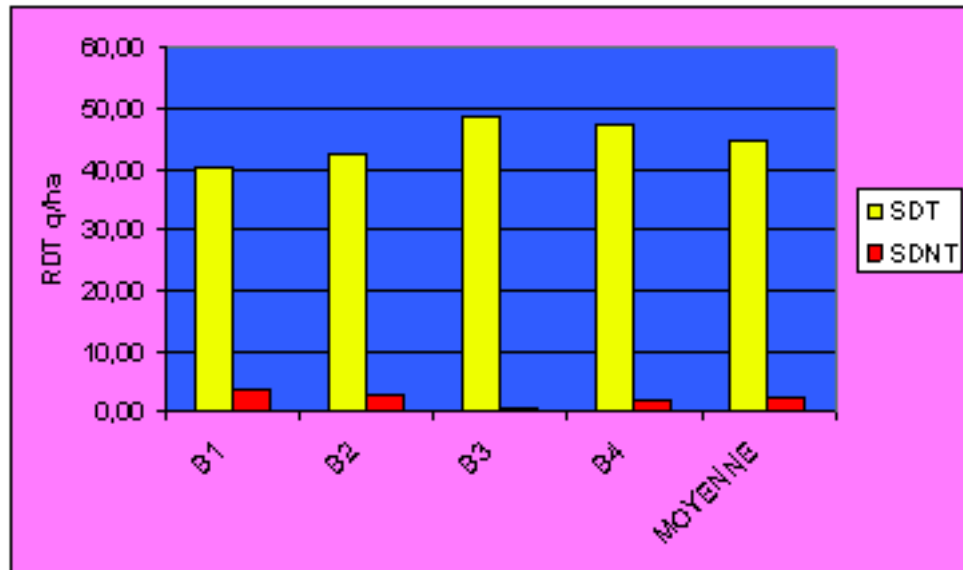


Figure 87 : variation du rendement théorique pour les sols non travaillés en fonction du traitement à l'herbicide

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 et meilleurs par rapport à celui des sols menés en semis direct et non traitées à l'herbicide avec une différence entre les deux cas de 42 q/ha.

#### 11.3.4.1. L'analyse statistique de l'effet du traitement à l'herbicide sur le rendement théorique

L'analyse statistique montre clairement un effet significatif du traitement herbicide sur le rendement théorique.

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			

Tableau 48 : analyse de la variance

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

##### 11.3.4.1.1. 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).

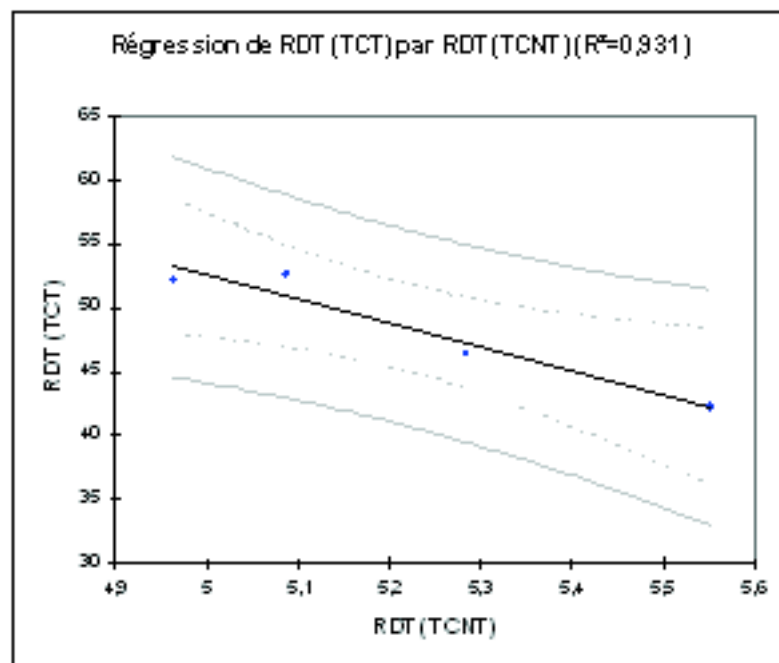


Figure 88 : courbe représentant la corrélation entre RDT (TCT) et RDT (TCNT)

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

$$R_p \text{ SDT} = 0,002 + 1,014 * R_p \text{ (SDNT)} \quad R^2 = 0,9537 \%$$

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 89 : 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 de 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 90 : 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 en semis direct par rapport au travail conventionnel ont montré que la culture s'est mieux comportée en travail conventionnel particulièrement pour les paramètres relatifs aux composants de rendement.

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.

#### **11.4. Conclusion**

---

Donc on pourra conclure que le traitement herbicide a un effet certain 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.

Pour ce qui est du rendement, on pourra dire que le traitement herbicide a un effet certain sur le rendement dans les sols non traités à cause de la concurrence des mauvaises herbes qui inhibent 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'herbicide ce qui aura des conséquences environnementales.



---

# Conclusion générale

L'objectif de notre travail a été d'établir un constat dans le but de faire ressortir l'effet des techniques culturales dans notre cas le travail conventionnel et le semis direct sur l'évolution de l'état structural du sol, et conséquences sur le développement racinaire et le rendement.

Notre travail est une contribution aux préoccupations du tassement du sol, il 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 deux techniques culturales à savoir le travail du sol classique et le semis direct 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. Tout ça après avoir effectué des essais préliminaires pour voir l'effet du compactage des sols sur le développement des racines.

Nos résultats ont été axés sur trois grandes parties : la première consiste aux essais préliminaires, la deuxième a porté sur l'effet des techniques culturales sur les propriétés du sol et conséquence sur le développement racinaire ainsi que le rendement alors que la troisième partie a mis en évidence l'effet du traitement à l'herbicide sur les propriétés du sol et l'impact sur le développement de la plante et son rendement.

La première partie de nos essais relatifs à l'étude de l'impact du compactage du sol sur le développement racinaire, montre clairement l'importance de l'action d'ameublissement du sol qui offre une terre fine favorable à un bon développement de la plante. On a constaté aussi 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.

L'examen de l'ensemble des résultats de la deuxième partie, permet de tirer les conclusions suivantes :

- De façon générale, les différents passages des outils aratoires par leurs actions ont un effet diminutif sur la teneur en eau dans le sol donc sur la conservation de l'eau dans le sol par rapport au semis direct qui a pour principal avantage la conservation de l'eau dans le sol. Toutefois les résultats montrent que les parcelles où on a utilisé la Technique Conventionnelle et ceux menés en semis direct ont le même taux d'humidité pour les trois premiers stades, juste qu'au niveau du premier horizon on enregistre un meilleur taux d'humidité pour le travail conventionnel. On constate aussi que le semis direct se rattrape par rapport au travail conventionnel à partir des deux derniers stades et prends un léger avantage.
- Il y a un effet certain des passages des différents outils aratoires sur la résistance pénétrométrique du sol, la résistance mécanique est beaucoup plus élevée dans les sols menés en semis direct 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. 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 doit être 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.

- La densité racinaire est nettement supérieure dans les sols labourés. 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. 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.
- En ce qui concerne l'influence des techniques culturales sur les composantes du rendement, les résultats ont montré que le poids de mille grains est légèrement meilleur pour les parcelles travaillées par rapport à celles non travaillées. Pour ce qui est du nombre de grains par épi, on constate que cette composante est légèrement meilleure dans les parcelles non travaillées par rapport à celles travaillées. Les résultats montrent aussi que le meilleur peuplement a été obtenu au niveau des parcelles travaillées avec une moyenne de 306 épis /m<sup>2</sup> pour le TCT, contre une valeur légèrement plus basse pour le SDT de 289 épis/m<sup>2</sup>. on constate également 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.

La troisième partie relatif a l'effet du traitement herbicide sur les propriétés du sol ainsi qu'au développement de la plante nous a permis de conclure que :

- La teneur en eau dans le sol est meilleure dans les sols traités sauf qu'au 1<sup>er</sup> stade de cycle de la plante ou l'humidité des sols non traités est beaucoup meilleure. 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.
- Le traitement à herbicide a un effet certain 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 due a 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.

- On peut conclure donc que le traitement herbicide a un effet considérable sur le développement racinaire à cause de la présence des mauvaises herbes qui inhibe le développement des plantes de blé et de ce fait, la présence des racines de mauvaises herbes bloque le développement des racines du blé ce qui a eu comme conséquence une densité racinaire faible dans les parcelles non traitées.
- Les résultats obtenus au terme de la conduite de la culture du blé en semis direct par rapport au travail conventionnel ont montré que la culture s'est mieux comportée en travail conventionnel particulièrement pour les paramètres relatifs aux composants de rendement. Pour le poids de mille grains il apparaît qu'il 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 39,84g alors que celle obtenue pour le T.C.N.T est de 24,68 g alors que la moyenne de 38,06 g du SDT contre 24,81 g pour les parcelles infestées par les mauvaises herbes et menées en semis direct.
- On constate aussi que le nombre de grains est faible pour les deux cas avec un net avantage pour les parcelles traitées et travaillées ou on a une moyenne de 40 grains contre 29 pour les non traitées et travaillées, cette avantage est toujours remarqué pour les parcelles traitées à l'herbicide avec une moyenne de 41 grains pour SDT contre 26 grains pour les non traitées et menées en semis direct.
- Il a été déduit aussi que le meilleur peuplement a été obtenu au niveau des parcelles traitées avec une moyenne 306 épis /m<sup>2</sup> pour le TCT, alors qu'on a enregistré une valeur largement plus basse pour le TCNT : 74 épis/m<sup>2</sup>, alors que le nombre d'épi/m<sup>2</sup> dans parcelles menées en semis direct et traité atteint une moyenne de 289 épis/m<sup>2</sup> contre 39 épis/m<sup>2</sup> 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.
- On a pu constater clairement que le traitement à l'herbicide a un effet certain sur le rendement de la culture. 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 de blé de l'alimentation et l'eau et ce qui a inhibé le développement des racines et qui s'est répercuté sur le rendement.

En conclusion, notre travail montre clairement l'effet des techniques culturales, 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.

## 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.
- 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.
- Andre M et Marc S., 1991** - Physique du sol. Ed. Collection META. Lausanne, 1991, 335p.
- Arnon I., 1972** - Crop Production in Dry Regions. Vol. I. ed. Leonard Hill. London. 650 p.
- 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.
- 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.
- Billot J-F., 1982** - Les applications agronomiques de la pénétrométrie a 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.

- 
- Boizard H., Richard G., Defossez P., Roger-Estrade J et Boiffin J., 2004** - Etude de l'effet à moyen et long terme des systèmes de culture sur la structure d'un sol limoneux-argileux du Nord du Bassin Parisien: les enseignements de l'essai à long terme 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.
- Bradford JM., 1982** - Penetrability. p.463-478 dans A.Klute, ed. *Methods of soil analysis. Part 1: physical and mineralogical methods*. Second edition. ASA, SSSA 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** - Penetration-a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. *Soil tillage Res*, P. 51-70.
- 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*.
- Cedra C., 1993** - Les matériels de travail du sol, semis et plantation. Ed. CEMAGREF DICOVA Antony. FRANCE. 384 P.
- Chopart J.L., 2001** - Système racinaire des cultures annuelles tropicales : effet du travail du sol sur les racines.
- 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 loamsoils. *European Journal of Agronomy* 28:449-460.
- 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. CNEEMA. France.
- 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.
- 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 restrictive. Institut du végétal. France.
-

- Dielh R., 1975** - Agronomie générale. Ed. Bailliere, paris, 396 p.
- Duthil J, 1973** - Éléments d'écologie et d'agronomie. Coll.ing. Tech agri, 256 p.
- 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.
- Faure A., 1978** - Influence de la phase argileuse sur la susceptibilité au tassement des sols. Bulletin AFES n° 2 CNRA (AVIGNON).
- 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.
- Franzluebbbers A.J., Hons F.M., ET Zuberer D A. 1995** - Tillage and crop effects on seasonal dynamics of soil CO<sub>2</sub> 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.
- Fritton D D., 1990** - A standard for interpreting soil penetrometer measurements. Soil scie, 150 (2): p.542-551.
- Gardner and al, 1999** - Soil physical constraints to plant growth and crop production. Land and water division. F.A.O, 106 p.
- 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.
- Georges E.T, 2005** - La compaction des sols : Les causes et les solutions. CCA GGAEO, Alfred. France.
- Granes D. et Caron H., 1993** - Agriculture spéciale CERDI, ENCR/Bambey-Sénégal.
- 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.

- 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.
- Hénin S., 1969** - Le profil cultural : l'état physique du sol et ses conséquences agronomiques. Deuxième édition. Masson, Paris, 332 p.
- 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
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Klajj 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.
- 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.
- Liu X.J., Mosier A.R., Halvorson A.D., Reule C.A., et F.S. Zhang., 2007** - Dinitrogen and N<sub>2</sub>O emissions in arable soils: Effect of tillage, N source and soilmoisture. *Soil Biology and Biochemistry* 39:2362-2370.
- 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.
- 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., CRRA Settat, Maroc. Pp : 19 – 24.
- Mermoud A 2006** – cours de physique du sol. DOC.POLYC.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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Mutin G., 1977** - La Mitidja : décolonisation des espaces géographiques. Alger, OPU, 602 p.



- 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.
- Nicou R et Thirouin H, 1967** - Mesure sur la porosité et l'enracinement - premiers résultats. IRAT. SENEGAL. Doc, p. 52.
- 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. 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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. Collections sciences et techniques agricoles. 17<sup>ème</sup> 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.
- 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.
- 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
- Tropes M.L., 2009** – la rotation : diversité, stabilité, rentabilité. Au jour culture. N° 132.
- Vallee J.F., 2005** - Terre vivante, Lilith Production, 2005.
- Willcocks T.J., 1984** - Tillage requirements in relation to soil type in semi-arid rainfed agriculture. *Journal of Agricultural Engineering Research* 30: 327-336.
- 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

## 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
	S1	14,338	13,501	16,555	12,556
	S2	13,484	12,744	12,343	12,349
0 a 10	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
	S1	14,210	14,756	16,429	15,132
	S2	13,202	12,602	12,140	12,655
10 a 20	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
	S1	14,897	14,915	16,152	15,322
	S2	12,928	13,379	12,091	12,700
20 a 30	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

**ANALYSE DU COMPORTEMENT DU SOL SOUS L'ACTION DE DEUX TECHNIQUES DE MISE EN PLACE D'UNE CULTURE DE CEREALE (*Triticum durum*)**

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 <sup>3</sup> )	Volume final de l'eau (cm <sup>3</sup> )	Vi-Vf (cm <sup>3</sup> )	poids sec du sol (g)	La densité réelle du sol (g/cm <sup>3</sup> )
300	475	175	410	2,342857143
280	450	170	410	2,411764706
330	480	150	410	2,733333333
285	460	175	410	2,342857143
340	510	170	410	2,411764706
325	490	165	410	2,484848485
175	350	175	410	2,342857143
265	440	175	410	2,342857143
300	470	170	410	2,411764706
180	350	170	410	2,411764706
			Moyenne :	2,423666921

## Annexe 4

Variation de la résistance pénétrométrique du sol en relation avec la profondeur et le stade végétatif

profondeurs(cm)	stades	Rp(daN/cm <sup>2</sup> ) TCT	Rp(daN/cm <sup>2</sup> ) SDT	Rp(daN/cm <sup>2</sup> ) TCNT	Rp(daN/cm <sup>2</sup> ) 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

**ANALYSE DU COMPORTEMENT DU SOL SOUS L'ACTION DE DEUX TECHNIQUES DE MISE EN PLACE D'UNE CULTURE DE CEREALE (*Triticum durum*)**

les traitements	stades	volume (cm <sup>3</sup> )	poids des racines (g)	densité racinaire (g/cm <sup>3</sup> )	densité racinaire (g/dm <sup>3</sup> )
		6000	123	0,021	20,500
	stade epiaison	6000	111	0,019	18,500
		6000	80	0,013	13,333
		6000	179	0,030	29,833
TCT	stade floraison	6000	283	0,047	47,167
		6000	450	0,075	75,000
		6000	341	0,057	56,833
	stade maturation	6000	408	0,068	68,000
		6000	479	0,080	79,833
		6000	89	0,015	14,833
	stade épiaison	6000	115	0,019	19,167
		6000	107	0,018	17,833
		6000	150	0,025	25,000
SDT	stade floraison	6000	97	0,016	16,167
		6000	295	0,049	49,167
		6000	123	0,021	20,500
	stade maturation	6000	249	0,042	41,500
		6000	301	0,050	50,167
		6000	69	0,012	11,500
	stade epiaison	6000	101	0,017	16,833
		6000	114	0,019	19,000
TCNT		6000	62	0,010	10,333
	stade floraison	6000	98	0,016	16,333
		6000	112	0,019	18,667
		6000	119	0,020	19,833
	stade maturation	6000	131	0,022	21,833
		6000	121	0,020	20,167
		6000	23	0,004	3,833
	stade epiaison	6000	48	0,008	8,000
		6000	65	0,011	10,833
		6000	31	0,005	5,167
SDNT	stade floraison	6000	49	0,008	8,167
		6000	38	0,006	6,333
		6000	29	0,005	4,833
	stade maturation	6000	69	0,012	11,500
166		6000	81	0,014	13,500

Variation du poids de mille grains (g) pour les quatre blocs

	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>	<b>B4</b>
<b>TCT1</b>	39,23	39,21	36,76	44,55
<b>TCT2</b>	42,56	37,7	40,21	38,55
<b>moyenne</b>	40,895	38,455	38,485	41,55
<b>SDT1</b>	39,09	43,21	37,44	40,5
<b>SDT2</b>	36,89	37,89	36,36	38,16
<b>moyenne</b>	37,99	40,55	36,9	39,33
<b>TCNT1</b>	25,34	30,05	21,9	26,9
<b>TCNT2</b>	22,56	25,26	22,67	22,78
<b>moyenne</b>	23,95	27,655	22,285	24,84
<b>SDNT1</b>	22,98	24,35	23,19	30,97
<b>SDNT2</b>	21,99	25,83	28,18	21
<b>moyenne</b>	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

## ANALYSE DU COMPORTEMENT DU SOL SOUS L'ACTION DE DEUX TECHNIQUES DE MISE EN PLACE D'UNE CULTURE DE CEREALE (*Triticum durum*)

---

	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 a 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 a 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 m<sup>2</sup> pour le bloc 1

La technique culturale et le traitement herbicide	Nombre de grains par épi	Nombre d'épi par m <sup>2</sup>	Nombre de grains au m <sup>2</sup>
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 m<sup>2</sup> pour le bloc 2

La technique culturale et le traitement herbicide	Nombre de grains par épi	Nombre d'épi par m <sup>2</sup>	Nombre de grains au m <sup>2</sup>
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

## ANALYSE DU COMPORTEMENT DU SOL SOUS L'ACTION DE DEUX TECHNIQUES DE MISE EN PLACE D'UNE CULTURE DE CEREALE (*Triticum durum*)

---

Variation du nombre de grains au m<sup>2</sup> pour le bloc 3

La technique culturale et le traitement herbicide	Nombre de grains par epi	Nombre d'epi par m <sup>2</sup>	Nombre de grains au m <sup>2</sup>
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 m<sup>2</sup> pour le bloc 4

La technique culturale et le traitement herbicide	Nombre de grains par epi	Nombre d'epi par m <sup>2</sup>	Nombre de grains au m <sup>2</sup>
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 m <sup>2</sup>	Nombre de grains au m <sup>2</sup>	Le poids de mille grains (g)	Le rendement théorique (q/ha)
B1	TCT	34,2	302	10328,40	40,895	42,24
	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
B2	TCT	39,1	309	12081,90	38,455	46,46
	SDT	39,5	272	10744,00	39,495	42,43
	TCNT	24,5	78	1911,00	27,655	5,28
	SDNT	29	42	1218,00	25,09	3,06
B3	TCT	44,7	303	13544,10	38,485	52,12
	SDT	44,8	295	13216,00	36,9	48,77
	TCNT	29,3	76	2226,80	22,285	4,96
	SDNT	27,7	9	249,30	25,685	0,64
B4	TCT	41,2	308	12689,60	41,55	52,73
	SDT	42	286	12012,00	39,33	47,24
	TCNT	32	64	2048,00	24,84	5,09
	SDNT	23,9	33	788,70	25,985	2,05

## Annexe 16

**ANALYSE DU COMPORTEMENT DU SOL SOUS L'ACTION DE DEUX TECHNIQUES DE MISE EN PLACE D'UNE CULTURE DE CEREALE (Triticum durum)**

La pluviométrie journalière de l'année 2007/2008Les jours	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
1	0	0	8,5	0	0	0	0	5,9	0	0	0	0
2	0	3,5	14,7	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0,8	0	15,3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0,4	0	1,2	0,3	4,5	0	0	0	0	0
5	0	2,6	0	0	0	0	1,1	0	0	0	0	0
6	0	0	0,2	0	0	0	6,5	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	12,3	8,8	8,6	0	0
11	0	0	0	0,6	5,1	0	0	0	7,1	0	0	0
12	0	26,6	0	1,2	0	0	0	0	6,5	0	0	0
13	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	13,8	0	1,2	2	0	0	0	0	0	0
15	0	0	12,2	27,3	4,4	2,5	0	0	0	0	2	0
16	0	0,8	0,5	3,4	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0
19	0	0	0	0	0	3,6	0	0	30	0	0	0
20	0	1,2	0	0	0	0,8	2,7	0	0	0,1	0	0
21	4,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	12,1	0	10,5	0	0	0	11,1	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0
24	0	6,8	24,9	10,4	0	0	0	0	0,3	0	0	0
25	0	0,7	71	0	0	0	0	0	1,1	0	0	0
26	0,6	0,4	24,1	0	0	0	12,4	0	4,2	0	0	0
27	0	0,2	18,7	10,9	0	0	0	0	2,7	0	0	0
28	0	12	9,5	8,4	0	0	0	0	6,6	0	0	0
29	0	26,4	26,8	5,5	0	13,2	0	0	0	0	0	0
30	0	48,9	0	0,5	0		22,3	0	0	0	0	0
31		41,8		5,6	0		0		0		0	0

## Annexe 17

La pluviométrie journalière de l'année 2008/2009

Les jours	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
1	0	0	0	2,8	1,5	0,6	0	8	13	0	0	0
2	0	0	0	22,5	7	3	0	0	0	0	0	0
3	0	8	12,7	16	20,5	0	0	19	0	0	0	0
4	0,6	0	0	5,9	27	0	21	0,6	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	3,5	6	0	0	0	0	0
6	0	0	1,5	0	6	3,5	1	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	5,5	4,8	0	2	0	0	0	0
8	0	10,3	0	0	0	0,6	0	6,8	0	0	0	0
9	0	0	0	2,6	0	0	0	0	7,6	0	0	0
10	0	0	0	27,7	0	0	0	13	0	0	0	0,4
11	0	0	0	0	5,5	0	0	8,3	0	0	0	0,9
12	0	1,5	30,7	0	11,1	0	0	12,5	0	0	0	0
13	20,2	0	10,1	5,9	0,4	0	0	0	0	0	0	1,3
14	0	0	6,2	31,4	0,3	0	0	0	8	0	3,5	0
15	0	0,6	33,5	26,4	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0,5	3,5	26,1	0	0	11,5	0	0	0	0	0
17	0	0	0	15,8	0	0	0,3	0	0	0	0	0
18	0	0	4,3	0	0	0	0	0,6	0	0	0	0
19	1	0	0	0	0,2	0	0	2,9	0	0	0	0
20	0	0	0	0	8,8	0	0	0	0	0	0	0
21	0	10,3	0	0	24,3	0	0	0	0	0	0	0
22	6,5	0	0	0	3,8	0	0	0	0	0	0	0
23	10,9	0,1	5,9	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0
24	5,7	0	17,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	4	0	0	0	7,2	0	0	0,5	0	0	0	0
26	34,8	0,4	0	0,4	3,4	0	0	14,8	0	0	0	0
27	0	0	29,3	0	0,4	0	0	1,7	0	0	0	0
28	0	14,6	2,3	0	0	0,5	4,5	0	0	0	0	0
29	0,3	1,4	3,5	0	0		12,8	0	0	0	0	0
30	0	0	6,3	0	0		2,9	0	2,7	0	0	0
31		0		0	1,2		7,4		0,5		0	0

## Annexe 18

La pluviométrie journalière de l'année 2009/2010

**ANALYSE DU COMPORTEMENT DU SOL SOUS L'ACTION DE DEUX TECHNIQUES DE MISE EN PLACE D'UNE CULTURE DE CEREALE (*Triticum durum*)**

---

Les jours	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	13,5	0	0	0
4	0	0	0	0	1,1	0	2,3
5	0	0	10	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	17
7	0	0	2,5	0	0	0	9,4
8	0	0	15,3	0	0,5	5,9	53,6
9	0	0	10	0	5,5	13,4	10,6
10	0	0	0	0	0,6	14,3	0
11	0	0	0	0	52,3	3	0,6
12	0	0	0	0	0,6	8,5	13
13	0	0	0	0	0,7	0	5,5
14	0	0	0	15,2	0	4,3	6,3
15	15,2	1,6	0	9,8	6,5	7,3	0
16	0	0	0	11,5	0	0	0
17	9,5	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	12	0	1,5	0
19	0	0	0	20,5	0	0	0
20	0	0	0	0	0	9	0
21	9,8	6,9	0	0	0	3,6	0
22	4,1	13	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0,9	0	0	0
24	0,9	0	0	0	0,3	0	0
25	0	0	0	4	0	0	0
26	0	0	0	20,5	3,7	0	0
27	18,4	0	0	0	5,5	0	0
28	10,4	0	0	0	0	0	0
29	0	0	11,9	0	1,6		0
30	15,4	0	22,5	0	0		0
31		0		0	0		0