

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
المدرسة الوطنية العليا للفلاحة  
الحراش الجزائر  
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE  
EL - HARRACH - ALGER

MEMOIRE

présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magister en  
Sciences Agronomiques  
Spécialité Science du sol (Pédologie)  
Option Pédosphère

**Thème**

**Effets des différents traitements culturaux sur les propriétés  
physiques d'un sol limono-argileux cultivé en blé dur**

**Par : Melle SOUICI SAMIA**

Devant le jury composé de :

<b>M<sup>r</sup> DJILI K.</b>	Professeur	Président du jury
<b>M<sup>r</sup> DRIDI B.</b>	Maître de conférence	Directeur thèse
<b>M<sup>r</sup> DAOUD Y.</b>	Professeur	Directeur de thèse
<b>Mme KOURGLI N.</b>	Chargé de cours	Examinatrice

Année universitaire 2008 / 2009

## Remerciements

Au terme de ce travail, je voudrai exprimer toute ma reconnaissance à ceux qui tout au long de mon parcours m'ont apporté leurs conseils et leurs encouragements.

*Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur de thèse, Monsieur B. Dridi, Maître de conférences à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique EL- Harrach, d'avoir accepté de diriger ce travail. Je voudrai le remercier, tout particulièrement, pour sa patience, sa disponibilité et son aide.*

*J'exprime mes sincères remerciements à Monsieur K. Djili, Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique EL- Harrach, pour l'honneur et le plaisir qu'il m'a fait en acceptant de présider ce jury, je le prie d'accepter le témoignage de ma reconnaissance.*

*Je remercie Monsieur Y. Daoud Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique EL- Harrach, d'avoir accepté d'examiner ce travail, qu'il trouve ici le témoignage de mon profond respect.*

*Je remercie, Mme N. Kourgli, chargé de cours à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique EL- Harrach, d'avoir accepté d'examiner ce travail*

*Sans oublier Melle Larbi Fattouma, Je la remercie beaucoup, pour son aide, sa gentillesse et ses encouragements.*

## • Résumé

Une expérimentation portant sur trois techniques culturales (semis direct, travail minimum et travail profond) a été menée à la station de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique sur un sol limono-argileux cultivé en blé dur.

L'étude a porté sur une approche morphologique (profils culturaux) et une autre analytique (analyses et mesures).

Sur les trois traitements, le travail profond a donné les meilleurs rendements en blé. Les mesures des propriétés du sol ont montré que la porosité totale est élevée, la microporosité est dominante en raison de la texture fine du sol. La stabilité structurale est meilleure dans le semis direct, car, en surface, la matière organique y est plus abondante. Cependant, les analyses statistiques n'ont pas montré de différences significatives en raison de la courte durée de l'expérimentation.

**Mots clés:** profil cultural, propriétés physiques, traitement cultural, blé dur, sol limono-argileux.

## Summary

An experiment in three cultivation techniques (semi- direct, minimum work, work deep) was conducted at the station of the Ecole Nationale Supérieure Agronomique on a silty clay soil cultivated with wheat dur.

The study focused on a morphological approach (crop profiles) and record (tests and measures) three treatments on the deep work gave the best returns in durum. Measurements of soil properties showed that total porosity is high; the micro porosity is dominant because of the texture fine ground. Structural stability is the best in the semi-direct because surface organic matter is abundant. However, statistical analysis showed no significant difference because of the short period of experimentation.

Key words: crop profiles, physicals properties, treatments, wheat dur, silty clay soil

## الملخص

تجربة حول ثلاث تقنيات زراعية (دون زرع , عمل زراعي سطحي , عمل زراعي عميق ) اجريت في المحطة للزراعية الكائنة في المدرسة الوطنية العليا للفلاحة .  
الدراسة كانت حول فرضية مرفلوجية (مقاطع زراعية) واخرى تحليلية (تحاليل و قياسات). من بين الثلاث تقنيات المطبقة, العمل الزراعي العميق اعطى احسن مردود فلاحي للقمح الصنّب  
القياسات حول خصائص التربة بينت ان المسامة الكلية مرتفعة بسبب التشكيلة الدقيقة مع سيادة الميكرومسامية واحسن ثباتية هيكلية وجدت في تقنية العمل دون زرع وهذا راجع لتراكم كمية كبيرة من المادة العضوية على السطح.  
الكلمات الرئيسية:  
مقطع زراعي , الخصائص الفيزيائية , عمل زراعي , قمح صلب , تربة طمية صتصالية.

# TABLE DES MATIERES

<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>1</b>
-----------------------------------	----------

## **PARTIE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE**

### **CHAPITRE I : Techniques culturales de travail du sol**

1. Généralités.....	4
2. Travail profond (15-25cm).....	6
3. Techniques Culturales Simplifiées (TCS).....	10
3.1 Différentes formes de travail du sol simplifié.....	10
3.1.1 Travail minimum (5-10cm) .....	10
3.1.2 Semi- direct.....	12
1.2.1 Types de semi-direct.....	13
1.2.2 Avantages du semi-direct.....	15
1.2.3 Inconvénients de la technique du semi-direct.....	17
1.2.4 Comparaison entre trois techniques de travail du sol.....	17

### **CHAPITRE II : Effets des techniques culturales sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol**

1. Les propriétés physiques .....	18
1.1 La structure de sol, composante majeure de la fertilité des sols.....	19
1.1 Définitions.....	19
1.2 Méthodes de diagnostic de l'état de la structure du sol.....	20
1.3 Stabilité de la structure.....	21
1.2 Densité apparente.....	22
1.3 Porosité.....	22
1.3.1 Effets des techniques culturales sur la variation de la porosité.....	23
1.3.2 Application de la micromorphométrie à divers aspects agronomiques.....	23
1.3.3 Influence du taux de porosité sur les rendements des cultures.....	24
1.3.4 Modification de l'espace poral par le travail du sol.....	24
1.3.5 Rôle des différents types de pores.....	25
3.5.1 Pour les organismes vivants du sol.....	25
3.5.2 Pour le fonctionnement hydrique.....	26
1.3.6 Distribution volumique de l'espace poral.....	27
3.6.1 Emploi de la loi de Jurin.....	27
3.6.2 Potentiel matriciel et notion de pF.....	27
1.4 Effets du travail du sol sur la rétention en eau du sol .....	28
1.4.1 Réserve facilement utilisable.....	29
1.4.2 Conductivité hydraulique dans les sols saturés et non saturés.....	30
1.5 Relations entre la structure et les autres propriétés d'un sol.....	30
2. Les propriétés biologiques du sol.....	30
2.1 Matières organiques.....	30

2.1.1 Localisation de la matière organique en relation avec les techniques de travail du sol.....	32
2.1.2 Répartition et contact des résidus végétaux avec le sol.....	32
2.1.3 Effets des techniques culturales sur l'activité biologique du sol.....	33
3. Propriétés chimiques du sol.....	33
3.1 Effets du travail du sol sur les stocks et flux du C et N.....	33

### **CHAPITRE III : Culture du blé dur**

1. Importance et principales caractéristiques du blé.....	35
1.1 Importance agronomique et socioéconomique.....	35
1.2 Situation et la répartition des céréales en Algérie.....	35
2. Influence du déficit hydrique sur le développement du blé.....	35
2.1 Exigences en sol.....	35
2.2 Précédent cultural.....	35
2.3 Exigences agrotechniques.....	36
3. Conduite culturale du blé dur .....	36
3.1 Mise en place.....	36
3.2 Profondeur du semis et ses effets sur la germination.....	36
3.3 Fertilisation.....	37
3.1 Fertilisation azotée.....	37
3.2 Fertilité phospho-potassique.....	37
3.4 Élaboration du rendement.....	38
3.5 Effets du travail du sol sur le rendement de blé dur.....	38

### **CHAPITRE IV: Effets des techniques culturales sur le système racinaire**

1. Rôle des racines et leur évaluation dans le travail du sol.....	39
2. Méthodes d'études des systèmes racinaires.....	40
3. Influence de la résistance du sol à la pénétration et à la croissance des racines.....	40

## **PARTIE II : MATERIEL ET METHODES**

### **CHAPITRE I: Matériel sol**

1. Localisation du site d'expérimentation.....	43
2. Caractéristiques des conditions d'expérimentation.....	43
2.1 Caractéristiques climatiques générales.....	43
2.1.1 Données climatiques du site d'étude.....	44
2.1.2 Etude du milieu.....	45
1.2.1 Pédoclimat.....	45
1.2.2 Géomorphologie.....	45
1.2.3 Géologie.....	45
2.2 Sol du site de l'expérimentation.....	46
2.2.1 Description du profil pédologique du site d'expérimentation.....	46
2.1.1 Description morphologique.....	46
2.1.2 Processus pédogénétiques.....	46

## **CHAPITRE II: Matériel végétal**

1. Caractéristiques de la semence.....	47
1.1 Choix de la variété.....	47
1.2 Caractéristiques de la variété «Siméto».....	47
1.3 Capacité germinative.....	48
1.4 Date et dose de semis.....	48
2. Itinéraire technique.....	48

## **CHAPITRE III: Mesures effectuées et Méthodes d'analyses**

1. Méthodes d'analyses.....	50
1.1 Protocole expérimental.....	50
1.2 Date et nature des opérations culturales.....	52
1.3 Profils culturaux : morphologie, mesures et analyses selon la méthode mise au point par Manichon (1982).....	53
2 Mesures effectuées.....	57
2.1 Sur le sol.....	57
2.1.1 Densité apparente des agrégats centimétriques.....	57
2.1.2 Porosité totale.....	57
2.1.3 Stabilité structurale.....	57
2.1.4 Humidité du sol à différents potentiels matriciels.....	57
2.2 Sur le végétal.....	59
2.2.1 Suivi des stades phénologiques.....	59
2.2.2 Mesures morphologiques.....	60
2.2.3 Mesures des composantes du rendement.....	60

## **PARTIE III : Résultats et Interprétation**

### **CHAPITRE I : Partie Sol**

1. Profils culturaux des trois traitements.....	62
1.1 Descriptions des profils culturaux des trois traitements.....	62
2. Principales caractéristiques et propriétés du sol .....	69
3. Effets des trois traitements culturaux sur les propriétés physiques du sol.....	71
3.1 Densité apparente des agrégats centimétriques.....	71
3.2 Porosité totale.....	74
3.3 Rétention de l'eau dans le sol.....	76
3.3.1 Capacité en eau.....	76
3.3.2 Réserve utile (RU) et la réserve facilement utilisable (RFU).....	78
3.4 Distribution de la porosité.....	80
3.5 Stabilité culturale : Is.....	84

## **CHAPITRE II : Partie végétal**

4. effets des trois traitements culturaux sur le végétal.....	86
4.1 Caractères morphologiques.....	86
4.1.1 Longueur de l'épi.....	86
4.1.2 Hauteur des plants.....	86
4.1.3 Hauteur de la barbe.....	87
4.2 Composantes des rendements.....	88
4.2.1 Nombre de plants/m <sup>2</sup> .....	88
4.2.2 Nombre d'épis/m <sup>2</sup> .....	88
4.2.3 Nombre d'épillets stérile/épi .....	89
4.2.4 Nombre de grains/épi.....	90
4.2.5 Poids de mille grains.....	90
4.2.6 Poids de la matière sèche (PMS).....	91
4.2.7 Rendement en grains (qx/ha).....	92

<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>94</b>
---------------------------------	-----------

<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>97</b>
---	-----------

## **ANNEXES**

## Liste des tableaux

<b>Tableau I</b> : Classement hiérarchique des niveaux de travail du sol.....	6
<b>Tableau II</b> : Différentes possibilités de travail du sol simplifié en Grandes Cultures.....	8
<b>Tableau III</b> : Rendement du maïs ensilage (t Ms/ha) en fonction de l'état initial et de travail du sol.....	10
<b>Tableau IV</b> : Choix de la technique de travail du sol en fonction de l'état structural de la parcelle.....	11
<b>Tableau V</b> : Types de semis direct.....	14
<b>Tableau VI</b> : Avantages de la technique du semi-direct.....	16
<b>Tableau VII</b> : Comparaison entre le labour conventionnel, le travail simplifié et le semis direct.....	17
<b>Tableau VIII</b> : Essai (durée 30 ans) semis direct : effet sur les propriétés physiques.....	18
<b>Tableau IX</b> : Relation entre le potentiel matriciel et le diamètre équivalent théorique des pores.....	26
<b>Tableau X</b> : Rétention en eau des sols selon les textures.....	28
<b>Tableau XI</b> : Propriétés biologique, chimique et physique influencées par la structure du sol.....	30
<b>Tableau XII</b> : Répartition des racines en fonction de la profondeur.....	37
<b>Tableau XIII</b> : Comparaison des rendements du blé d'automne en fonction du système de travail du sol.....	38
<b>Tableau XIV</b> : Effet de la porosité, de l'humidité et de la résistance à la pénétration sur le développement de la plante.....	40
<b>Tableau XV</b> : Effets du travail du sol sur la densité racinaire des principales cultures annuelles.....	41
<b>Tableau XVI</b> : Précipitations mensuelles (mm), températures moyennes mensuelles (C°) et humidité relative (%).....	44

<b>Tableau XVII</b> : Précipitation mensuelle (mm), température moyenne mensuelle (°C) et humidité relative (%) de la période d'étude (Septembre 2003 et Juillet 2004).....	45
<b>Tableau XVIII</b> : Caractéristiques morphologiques, agronomiques, technologiques de la variété « Siméto».....	47
<b>Tableau XIX</b> : Date et nature des opérations culturales.....	52
<b>Tableau XX</b> : Horizons anthropiques selon les opérations culturales Réalisées.....	53
<b>Tableau XXI</b> : Types de positions latérales.....	54
<b>Tableau XXII</b> : Etats internes des mottes.....	55
<b>Tableau XXIII</b> : Modes d'assemblage des mottes (2ème niveau d'organisation structurale).....	56
<b>Tableau XXIV</b> : Définition des états types o, b, c et interprétation de leur origine.....	56
<b>Tableau XXV</b> : Fonctionnement hydrique et potentiel matriciel (Sol limono-argileux).....	57
<b>Tableau XXVI</b> : Méthodes d'analyses chimique et biologique.....	58
<b>Tableau XXVII</b> : Méthode des mesures et d'analyses physiques.....	58
<b>Tableau XXVIII</b> : Suivi des différents stades phénologiques.....	59
<b>Tableau XXIX</b> : Caractérisation du sol de l'expérimentation.....	69
<b>Tableau XXX</b> : Résultats analytiques d'un profil de l'unité d'expérimentation.....	70

## Liste des Figures

<b>Figure 1</b> : Effet du travail de sol sur le rendement grain de blé.....	9
<b>Figure 2</b> : Types de sols sur lesquels le travail simplifié a été appliqué.....	10
<b>Figure 3</b> : Evolution dans le temps des superficies sous semis direct dans le monde.....	13
<b>Figure 4</b> : Relation entre système non-labour et composantes de l'environnement et la production.....	15
<b>Figure 5</b> : La caractérisation morphologique de la structure du sol.....	20
<b>Figure 6</b> : Influence des techniques de travail du sol sur la stabilité structurale.....	22
<b>Figure 7</b> : Incidence de la simplification du travail du sol sur la porosité totale après 12 ans d'essai.....	25
<b>Figure 8</b> : Influence des techniques de travail du sol sur les stocks de matière organique.....	31
<b>Figure 9</b> : Effet du système de travail du sol sur le rendement en grain.....	39
<b>Figure 10</b> : Extrait de la carte pédologique de la station expérimentale de l'I.N.A.....	43
<b>Figure 11</b> : Diagramme ombrothermique (région d'El Harrach, période de 1952-2004.....	44
<b>Figure 12</b> : Schéma du dispositif expérimental en plein champ.....	50
<b>Figure 13</b> : Densité apparente des agrégats centimétriques de traitement T1.....	71
<b>Figure 14</b> : Densité apparente des agrégats centimétriques de traitement T2.....	72
<b>Figure 15</b> : Densité apparente des agrégats centimétriques de traitement T3.....	72
<b>Figure 16</b> : Densité apparente des agrégats centimétriques des trois traitements.....	73
<b>Figure 17</b> : Porosité totale du traitement T1.....	74
<b>Figure 18</b> : Porosité totale du traitement T2.....	75
<b>Figure 19</b> : Porosité totale du traitement T3.....	75
<b>Figure 20</b> : Porosité totale des trois traitements.....	76
<b>Figure 21</b> : Courbes de rétention en eau du traitement T1.....	76
<b>Figure 22</b> : Courbes de rétention en eau du traitement T2.....	77
<b>Figure 23</b> : Courbes de rétention en eau du traitement T3.....	78
<b>Figure 24</b> : Réserve utile et réserve facilement utilisable des trois traitements.....	79
<b>Figure 25</b> : Distribution dimensionnelle de la porosité du traitement T1.....	80

<b>Figure 26</b> : Distribution dimensionnelle de la porosité du traitement T2.....	81
<b>Figure 27</b> : Distribution dimensionnelle de la porosité du traitement T3.....	81
<b>Figure 28</b> : Distribution dimensionnelle de la porosité de l'horizon H0 des trois traitements...	82
<b>Figure 29</b> : Distribution dimensionnelle de la porosité du traitement T1.....	83
<b>Figure 30</b> : Distribution dimensionnelle de la porosité du traitement T2.....	83
<b>Figure 31</b> : Distribution dimensionnelle de la porosité du traitement T3.....	84
<b>Figure 32</b> : La stabilité structurale des horizons de surface des trois traitements.....	84
<b>Figure 33</b> : Longueur moyenne d'épis des trois traitements.....	86
<b>Figure 34</b> : Hauteur moyenne des plants des trois traitements.....	87
<b>Figure 35</b> : Hauteur moyenne de la barbe des trois traitements.....	87
<b>Figure 36</b> : Nombre moyen de plants /m <sup>2</sup> des trois traitements.....	88
<b>Figure 37</b> : Nombre moyen d'épis /m <sup>2</sup> des trois traitements.....	89
<b>Figure 38</b> : Nombre moyen d'épillets stérile/ épi des trois traitements.....	89
<b>Figure 39</b> : Rendement moyen en grains /épi des trois traitements.....	90
<b>Figure 40</b> : Poids de mille grains des trois traitements.....	91
<b>Figure 41</b> : Rendement moyen en matière sèche aérienne/m <sup>2</sup> des trois traitements.....	91
<b>Figure 42</b> : Rendement en grains (qx/ha) de la culture de blé dur des trois traitements.....	93

## Liste des Photos

<b>Photo 1.</b> Travail minimum (7-8 cm).....	48
<b>Photo 2.</b> Travail profond (25 cm).....	49
<b>Photo 3.</b> Semis direct (0 cm).....	49
<b>Photo 4.</b> Vue de quelques parcelles élémentaires.....	51
<b>Photo 5.</b> Différents horizons du profil du traitement T1.....	63
<b>Photo 6.</b> Détail de H0.....	63
<b>Photo 7.</b> Horizons 0 et 5.....	64
<b>Photo 8.</b> Détail de H5.....	64
<b>Photo 9.</b> Agrégat de type $\Phi$ .....	64
<b>Photo 10.</b> Agrégat de type $\Gamma$ .....	64
<b>Photo 11.</b> Agrégat de type $\Delta$ .....	64
<b>Photo 12.</b> Horizons 6 et 7.....	65
<b>Photo 13.</b> Détail de H6.....	65
<b>Photo 14.</b> Détail de H7.....	65
<b>Photo 15.</b> Aspect de surface.....	66
<b>Photo 16.</b> Différents horizons du profil.....	66
<b>Photo 17.</b> Structure de surface dégradée.....	67
<b>Photo 18.</b> Profil cultural T3.....	67
<b>Photo 19.</b> Lieu du passage de la dent.....	68

## Liste des abréviations

**T1** : Semi-direct

**T2** : Travail profond

**T3** : Travail minimum

**R** : Répétitions

**T. moy** : température moyenne mensuelle en C°

**P** : Précipitations mensuelles en mm

**H.R** : Humidité Relative (%)

**C.P.C.S** : Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols

**U.S.D.A**: United States Department of Agriculture

**J.A.S** : jours après le semis.

**F.S.A.E** : Faculté des Sciences Agronomiques de l'Etat - Gemblaux

**F.A.O**: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

## **Liste des annexes**

**Annexe I :** Données climatiques – Station Dar EL Beida 1952-2004.

**Annexe II :** Résultats des calculs des propriétés physiques et hydriques.

**Annexe III :** Résultats des calculs des composantes du rendement.

## INTRODUCTION GENERALE

La dégradation des sols agricoles est un phénomène observé sous différentes formes depuis des siècles dans de nombreuses régions du monde. Des explications ont été fournies portant notamment sur les aléas climatiques, mais ce seul aspect ne peut éclipser les méfaits de certaines pratiques culturelles ayant souvent des objectifs à très court terme.

Le système de culture doit permettre une amélioration des productions et en même temps une préservation des ressources naturelles et de l'environnement

La plupart des exploitations céréalières situées dans les différentes zones pédoclimatiques utilisent les mêmes outils de travail de sol alors que chacun des instruments aratoires s'adapte beaucoup plus à un type de sol qu'à un autre. Candelon (1981), souligne que le choix du matériel doit être raisonné en fonction :

- du type de sol et de son degré d'humidité.
- de la culture pratiquée.

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

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

En effet, les systèmes de culture en semis direct sous couverture végétale favorisent la restauration et le maintien de la fertilité des sols, ce qui constitue en soit l'amorce d'une agriculture « raisonnée et durable ».

Cependant, les interactions sont complexes, si bien que les objectifs à court terme du travail du sol concernant les besoins des cultures sont difficiles à déterminer et à évaluer. En effet, les opérations de travail du sol provoquent simultanément un ameublissement et un compactage du sol, ce qui modifie sa structure, sa densité, ainsi que la répartition et la taille des agrégats (Hoogmoed et al, 1997).

Des programmes de recherche portant sur les techniques culturales sont menés depuis quelques décennies dans différents pays, car on y observe une prise de conscience de l'ampleur de ces phénomènes de dégradation des sols qui, non seulement hypothèquent à long terme le potentiel productif des terres mais provoquent dans l'immédiat des dommages à l'environnement (routes, barrages, cours d'eau, ports).

Pour pallier à ces situations préjudiciables au milieu naturel, les approches retenues sont très variées, elles sont spécifiques au milieu physique et au contexte économique de chaque région.

En effet, des essais de « travail minimum » et « de semi direct » du sol ont été réalisés dans plusieurs pays, notamment en France, en Belgique, en Italie ainsi qu'aux Etats-Unis. L'orientation retenue est jugée prometteuse en raison de la complémentarité des aspects « conservation des sols » et « optimisation des intrants dans le processus de production agricole ».

L'étude des effets des techniques culturales sur le comportement du sol recourt à diverses méthodes employées isolement ou en combinaison, parmi lesquelles on peut distinguer:

- 1- l'étude du profil cultural (Henin et al, 1960 ; Manichon, 1982),
- 2- la résistance à la pénétration dynamique d'une pointe (Demolon et Hénin, 1960 ; Cordier ,1983 ; Dufey et Vitlox, 1985 ; in Dridi 1989),
- 3- la mesure de la densité apparente,
- 4- la distribution des mottes,
- 5- le test de perméabilité,
- 6- la capacité de rétention en eau,
- 7- la porosimétrie (injection de mercure sous pression).
- 8- la mesure de la stabilité structurale.

Pour atteindre cet objectif, une expérimentation a été menée à la station expérimentale de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'El Harrach.

Ce travail est structuré en trois parties principales, la première est une synthèse bibliographique portant sur les différentes techniques culturales et leurs influences sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols, ainsi que sur les composantes du rendement du blé.

Nous présenterons dans la deuxième partie les matériels et les méthodes mis en œuvre.

Les résultats obtenus et leur interprétation font l'objet de la troisième partie.

Une conclusion générale clôture ce travail en mettant en relief les résultats les plus importants et suggère d'autres perspectives de recherche dans ce domaine.

# **PARTIE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE**

## **Chapitre I : Techniques culturales de travail du sol**

### **1. Généralités**

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

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

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

Le travail du sol, comme d'autres techniques d'intensification (engrais, désherbants etc..) améliore donc le potentiel de production, comme il peut augmenter le risque de compromettre cette même production en cas de sécheresse au stade critique (épiaison, formation de grain). Les orientations pratiques et le choix raisonné d'une politique de travail du sol ne peut donc concerner que les milieux spécifiques et représentatifs des terrains d'études (Nicou et al, 1993)

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

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

Cependant, la mécanisation doit prendre en considération plusieurs facteurs parmi lesquels nous citons principalement :

- les caractéristiques pédoclimatiques,
- les exigences de la culture à mettre en place,
- le niveau de technicité des praticiens,
- l'adaptation des techniques culturales au sol,
- le choix des traitements culturaux.

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

Le travail du sol par ses effets multiples et variables qu'il peut avoir sur la structure de la couche travaillée, contribue à la création de l'état du milieu, il doit donc permettre d'atteindre un rendement élevé chaque année. Par ailleurs, il détermine la localisation initiale des résidus laissés à la surface du sol (et la proportion restant dressée ou couchée), la quantité de matière organique fraîche incorporée, la profondeur d'incorporation et la distribution spatiale des résidus. Indirectement, la localisation initiale détermine donc les conditions physiques (température, humidité) auxquelles les résidus sont soumis lors de leur décomposition et donc la vitesse de décomposition.

Un essai de Vullioud P et Mercier E (2004) visant à étudier les conséquences à long terme de différentes méthodes de culture sans labour sur un sol limoneux et sur un sol argileux se poursuit depuis trente-quatre ans à Changins. Le labour (travail classique à environ 25 cm) y est comparé au travail au chisel (travail profond à 25-30 cm), au cultivateur (profondeur moyenne 10-15 cm) et au travail minimum (herse rotative à 7-10 cm), parfois remplacé par le semis direct. Jusqu'à maintenant, les procédés de travail sans labour ont généré des rendements légèrement supérieurs (quelque 5% en moyenne générale) à ceux du labour. En sol argileux, c'est le travail du sol au cultivateur qui a, en moyenne, permis d'atteindre les meilleurs rendements. Cependant, le rendement après le labour était en général plus stable, quoique souvent inférieur à ceux des procédés de travail sans labour. En sol limoneux, le chisel et le cultivateur viennent en tête dans la moyenne des rendements, mais c'est le travail minimum qui a présenté le rendement le plus stable, avec une moyenne légèrement supérieure à celle du labour. En termes de coûts de production, les procédés labour et chisel sont très proches pour ce qui concerne les travaux du sol; le travail minimum permet une économie moyenne de 60% et le cultivateur de 30%.

Un classement hiérarchique des niveaux de travail du sol a été proposé par des chercheurs (Tableau 1).

**Tableau I.** Classement hiérarchique des niveaux de travail du sol (Kuipers, 1974)

Niveau de travail de sol	Déterminant	Description
Système	Gestion des ressources	Le choix d'un système particulier de travail du sol avec les conditions techniques et socio-économique, dépendant des objectifs généraux du labour
Traitement	Besoin des cultures	Le choix d'un certain enchaînement d'opération de travail du sol en fonction d'un but spécifique dans le système cultural
Opération	Disponibilité des instruments	La combinaison de plusieurs actions de travail du sol d'un instrument (p.ex. une charrue, une dent)
Action	Comportement du sol	L'effet direct d'un outil sur le sol, p.ex. couper, retourner, morceler, ameublir

Le climat, le sol et l'environnement socio-économique sont des données constantes, c'est ainsi que la recherche et le développement devraient également aborder le niveau "système" à plus long terme. (Michiel et Klaij, 1997).

## 2. Le travail profond (15-25cm)

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

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

Parmi les objectifs principaux du travail du sol, citons :

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

**-l'augmentation de la perméabilité et de la porosité** : facilite l'infiltration de l'eau, ce qui a plusieurs effets : limiter les eaux stagnantes ainsi que le ruissellement en surface, source d'érosion, améliorer l'équilibre entre l'eau et l'air dans le sol grâce à l'écoulement plus rapide de l'eau en excès, et enfin favoriser la réalimentation des réserves d'eaux souterraines ;

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

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

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

L'action des outils de travail du sol peut être néfaste dans certaines situations provoquant l'émiettement excessif de sol, la stabilité structurale des agrégats peut être réduite, la capacité d'infiltration du sol diminue et le ruissellement se déclenche. La capacité d'infiltration peut être réduite, une semelle de labour fine peut se former à cause des socs de la charrue et du poids des roues de tracteur. Alors que dans le fond, des instruments lourds à disques peuvent produire une épaisse zone compactée, (kelkouli M, 2008)

Le chisel a l'avantage d'effectuer un travail assez profond (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 où il s'avère souvent préférable à la charrue. Il convient aussi aux sols de texture moyenne ou lourde, pourvu qu'ils soient alors relativement secs. Le travail du chisel est en effet insatisfaisant en sol lourd et humide.

Au printemps et sur sol sableux, le chisel convient cependant très bien à l'enfouissement des résidus, pourvu que la profondeur de travail soit suffisante (25 cm). À faible profondeur (15 cm et moins), le chisel ne fera que recouvrir les résidus de quelques centimètres de terre. Il se formera alors un « matelas » qui ralentira l'établissement des racines. Finalement, l'utilisation du chisel augmente le stockage de l'eau en augmentant l'infiltration comparée avec l'utilisation du disque ou non labour (Lindstrom et al, 1974).

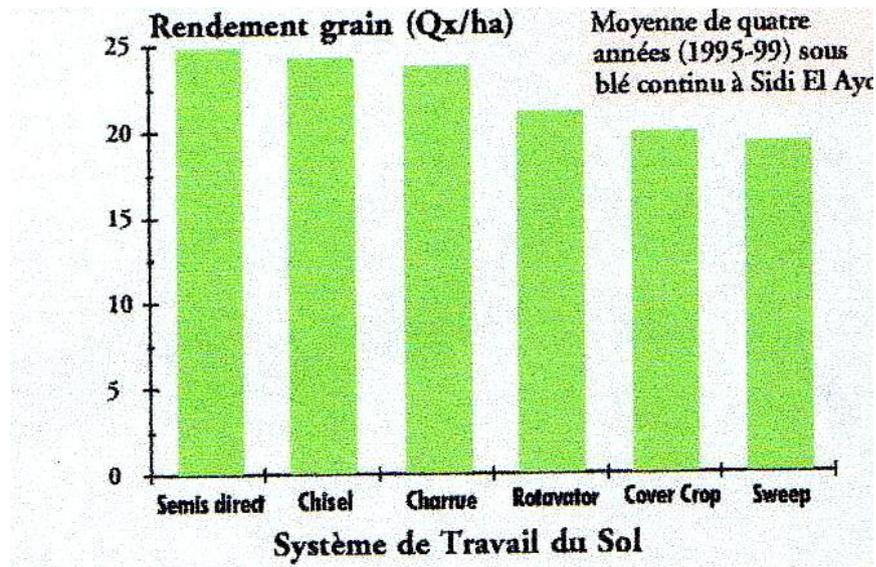
Selon Dalleine (1974), le chisel laisse le sol plus creux, même avec passage de rouleau lisse pour retasser. Toutefois le passage de la charrue laisse une porosité suffisante, mais le passage des outils de préparation superficielle provoque sa réduction. Les meilleurs rendements sont atteints lorsque la porosité est optimale, car ce paramètre est étroitement lié à la structure du sol et de l'humidité disponible dans ce dernier.

**Tableau II.** Différentes possibilités de travail du sol simplifié en grandes cultures (Viaux, 1999)

Type de travail du sol		Profondeur de travail	Résidus de culture	Type d'outils
<b>Profond</b>	Avec retournement et mélange	20-30 cm	enfouis	Charrue
	Sans retournement	15-25 cm	partiellement enfouis	outil type chisel
<b>Superficiel</b>	Sans décompactage	5-10 cm	en surface	outils classiques
	Avec décompactage	15-25 cm	en surface	comme précédemment + outils de décompactage
<b>Non travail</b>	Travail uniquement sur la ligne de semis	0	en surface	outils de semis direct

Au fil des ans, l'utilisation du chisel a amélioré la structure du sol. La présence de micro-organismes et de vers de terre permet notamment une décomposition rapide des résidus et un meilleur drainage du sol. De plus, la présence de résidus réduit les risques d'érosion, la capacité portante du sol en est également améliorée. Le chisel effectue un excellent travail pour divers types de sols, légers ou lourds, ces derniers se travaillent mieux. La vitesse d'avancement et la profondeur du travail sont deux facteurs qui influencent la qualité de travail du chisel. Enfin, le chisel exige deux fois moins de temps de travail que la charrue, à l'automne. Le travail du sol peut induire une meilleure infiltration de l'eau dans le sol. Encore faut-il que cette eau stockée dans le sol soit utilisée par la culture en particulier l'eau stockée en profondeur.

Le travail du sol le plus favorable est celui qui donne le rendement optimum avec le temps tout en conservant le patrimoine sol. Pour cela, il faut étudier l'impact de la combinaison des méthodes de travail du sol et du semis sur le rendement et ses composantes et essayer de trouver pour chaque culture la combinaison la plus favorable pour obtenir sur le plan agronomique, les meilleurs résultats possibles (figure 1).



**Figure 1.** Effet du travail du sol sur le rendement en grain du blé (PNTTA, 2001)

Ces dernières années, il y a un grand changement dans la compréhension des besoins des cultures en terme de travail du sol et de semis (M'hadhik et al, 1995). La tâche la plus difficile consiste à identifier son importance et la qualité nécessaire pour la croissance de la plante.

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

- le labour à des effets favorables sur les maladies et ravageurs des plantes (Trochard et al, 1994) selon les mécanismes suivants :
  - l'enfouissement des déchets de récolte a pour conséquence l'élimination de tout ce qui est source de développement de moisissures et d'hivernage pour certains insectes (balantin des noisettes, pyrote de maïs, insectes de coton,...),
  - les résultats obtenus par ces travaux montrent que les pertes à la levée du maïs grain, causées par l'attaque des limaces sont évitées dans le cas du labour,
  - l'exposition des racines à l'air provoque le dessèchement et la destruction par les oiseaux de divers insecte du sol, le dessèchement d'œufs de nématodes, la destruction des nids de fourmis et le dessèchement également des taupins et vers blanc.

Il joue également un rôle positif vis-à-vis des rendements des cultures, en effet, à l'I.T.C.F. de la Jaillière, deux itinéraires techniques ont été testés pendant 4 années de suite, sur maïs ensilage, l'un comprenant un travail conventionnel avec des reprises profondes, l'autre étant un semis direct.

Les résultats montrent, en tenant compte de l'état de la parcelle, que les deux techniques donnent un rendement voisin lorsque l'état initial n'est pas compacté ; en revanche, dans les parcelles compactées (cas des sols limoneux par exemple qui sont plus sujets à la battance), les rendements avec le travail conventionnel sont nettement plus élevés (tableau 3)

**Tableau III.** Rendement du maïs ensilage (t/Ms/ha) en fonction de l'état initial et de travail du sol (Boisgontier et Costes, 1994).

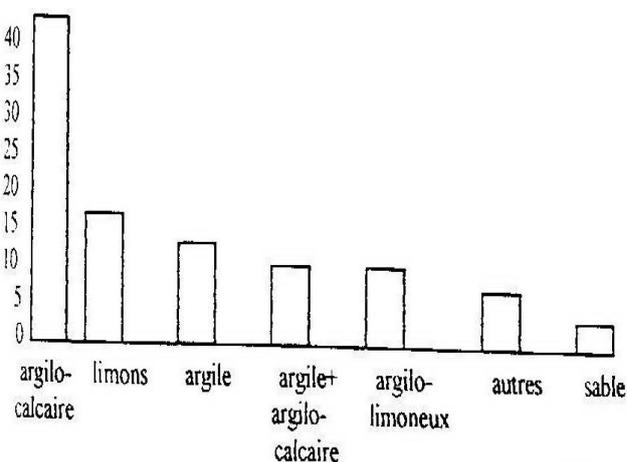
Etat initial Traitement du sol	Non compacté		compacté	
	Labour	Semis direct	Labour	Semis direct
1984	12,1	12	11,6	5,4
1985	13,9	12,5	11	7,5
1986	10,7	10,6	9,6	8,3

### 3 Les Techniques Culturelles Simplifiées (TCS)

#### 3.1 Les différentes formes de travail du sol simplifié

##### 3.1.1 Le travail minimum (5-10cm)

Cette technique doit être adaptée à un type de sol précis, l'enquête qui a été menée par I.T.C.F. (France) auprès de 4500 agriculteurs montre que ces derniers (plus de 50%) sont essentiellement localisés dans des zones où les sols sont de type argilo-calcaire, moins de 20% sont sur les sols limoneux moins aptes à cette technique. (Figure 2).



**Figure 2.** Types de sols sur lesquels le travail simplifié a été appliqué (Boisgontier D, Costes J.L, 1994)

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

**Objectif :** le labour dans certaines cultures ou sur toute la rotation est le plus souvent remplacé par un travail du sol superficiel.

Le but est de limiter les interventions mécaniques afin d'en minimiser les coûts et d'économiser du temps, l'implantation des cultures est ainsi accélérée.

Ces techniques développent un sol plus homogène, avec une matière organique concentrée en surface sur 5 à 10cm.

En effet, les TCS permettent ainsi d'augmenter l'activité biologique de surface, de diminuer le lessivage de l'azote, de freiner l'érosion et de diminuer la consommation en énergie.

Les TCS ne sont pas généralisables à tout type de sols, ni à tout type de culture.

Certaines cultures comme les pommes de terre, ne sont à l'évidence pas adaptées aux techniques simplifiées.

Les autres grandes cultures : céréales d'hiver, de printemps, maïs, tournesol, pois de printemps et colza peuvent être implantées avec des techniques simplifiées sans grandes difficultés si les conditions agronomiques s'y prêtent.

**Tableau IV.** Choix de la technique de travail du sol en fonction de l'état structural de la parcelle (Boisgontier et Gillet ,1994).

Structure du sol en profondeur	Etat de surface de la parcelle	Structure du sol en surface	Technique de travail du sol envisageable
<b>Compact</b>	Nivelée a défoncée	Non compact Compact	Travail profond
<b>Non compact</b>	Nivelée	Non compact	Travail profond Travail superficiel Semis direct
	Nivelée	Compact	Travail profond Travail superficiel
	Ondulée	Non compact  Compact	Travail profond  Travail superficiel

- l'absence de retournement débouche sur une localisation en surface des résidus de récoltes, des apports minéraux et des produits phytosanitaires,
- l'absence de fragmentation des horizons superficiels induite par la mise en place de la technique simplifiée, oriente vers une évolution progressive de la structure de l'ancienne couche travaillée.
- une évolution des états de surface du sol vers une faible rugosité (évolution qui augmente en présence des résidus végétaux en surface), cependant, l'état de surface et le mulch de résidus posent des problèmes que l'adaptation des semoirs ou l'élimination des pailles a permis de résoudre.

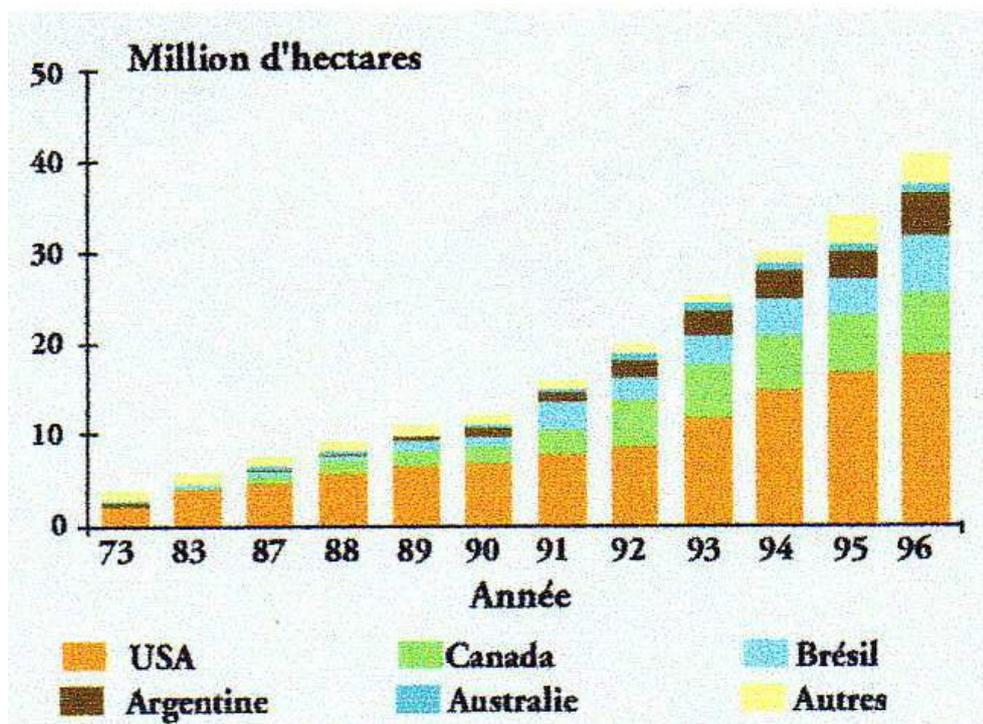
### **3.1.2 Le semi- direct**

Le semi-direct est l'une des plus grandes révolutions de ce siècle en matière de technologie agricole. Il donne un sens au terme "agriculture durable", car c'est une technique pratique et rentable qui permet de maintenir les objectifs de production et de protéger la qualité de l'eau et du sol sur l'exploitation et en dehors de celle-ci (Don Lobb, 2003).

Au cours des trente dernières années, les pays développés ont commencé à concentrer leurs efforts sur la conservation du sol (figure 3) et à minimiser les pertes d'eau par les phénomènes de ruissellement, d'évaporation, de drainage et d'érosion, donc maximiser la conservation de l'eau et sa disponibilité pour la plante dans les régions semi arides (Bouzza, 1990).

Selon Bourarach et Mrabet (2001), la réussite des semis directs dépend souvent d'une quantité de facteurs autres que la configuration des instruments. Il peut s'agir entre autres du drainage du sol et de la rotation des cultures qui influent grandement le rendement de tous les systèmes de semis direct.

Le semis direct est une simplification plus poussée du travail du sol qui consiste à implanter une culture sans travail préalable du sol tout en effectuant une ouverture dans le sol pour déposer la semence à la profondeur souhaitée et ceci afin d'assurer à la graine les conditions les plus favorables à la germination, à la levée et à la croissance pour obtenir les rendements escomptés. En d'autres termes, la couche arable superficielle n'est ni retournée, ni entraînée, ni cisailée et ni soulevée comme dans les cas des labours conventionnels. Cette simplification du travail se caractérise par une absence totale de l'action d'un outil aratoire. En semis direct, le sol n'est pas travaillé. Il est maintenu couvert en permanence par une biomasse sèche (paillis ou mulch) de résidus végétaux, il retrouve son état naturel, sa vie biologique s'anime, sa qualité se redresse, sa fertilité s'enrichit et il est à l'abri des différentes formes de dégradation. Le système permet une augmentation notable des rendements (en qualité et en quantité) et une amélioration des indices qualitatifs du sol, et aidera les agriculteurs à réduire les coûts de production (PNTTA, 2001).

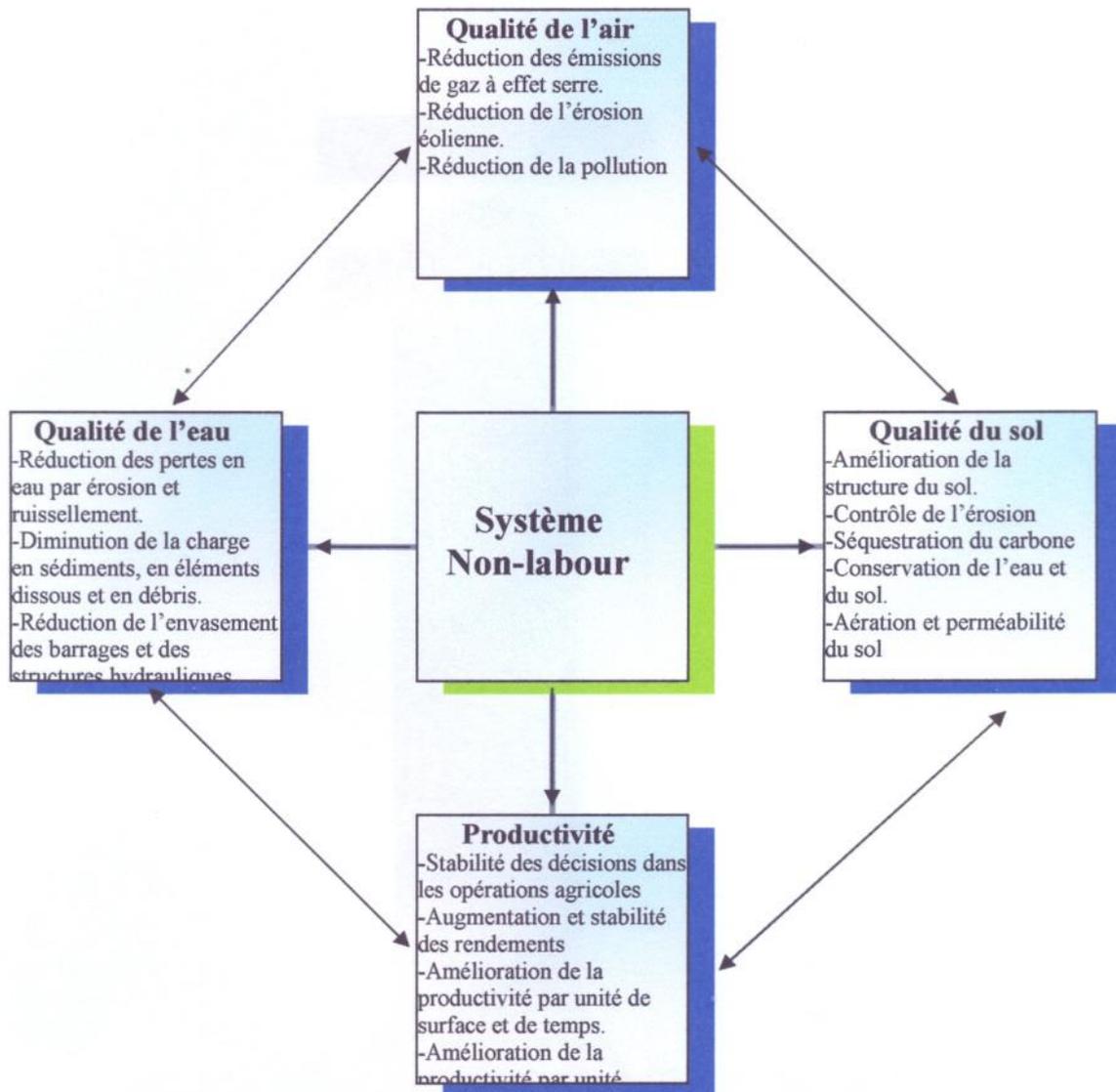


**Figure 3.** Evolution dans le temps des superficies sous semis direct dans le monde. (PNTTA, 2001).

**Tableau V.** Types de semis direct (Don Lobb, 2003)

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

## 1.2.2 Les avantages de la technique du semi-direct



**Figure 4.** Relation entre système non-labour et composantes de l'environnement et la production (Bourarach et Mrabet, 2001)

**Tableau VI.** Les avantages de la technique du semi-direct (TCS)

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

### 1.2.3 Les inconvénients de la technique du semi-direct

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

### 1.2.4 Comparaison entre trois techniques de travail du sol

Les travaux de recherche indépendants réalisés dans l'Union Européenne, aux Etats-Unis, au Canada et dans d'autres pays tel que le Maroc confirment que l'ancienne méthode de labour intégral qui laisse la surface du sol exposé à l'érosion doit être abandonnée, l'utilisation des chaumes destinées surtout au début à réduire l'érosion, doit devenir une pratique courante. En effet le semis direct améliore la productivité du sol en réduisant l'érosion hydrique et éolienne, le tassement et le compactage, il améliore la stabilité structurale, la porosité, la teneur en humus, l'activité biologique du peuplement de vers de terre et l'enracinement (PNTTA, 2001).

**Tableau VII.** Comparaison entre le labour conventionnel, le travail simplifié et le semis direct (Bourarach et Mrabet, 2001)

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

## Chapitre II : Effets des techniques culturales sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol

### 1. Les propriétés physiques du sol

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

Les résultats du tableau (8) comparent les effets du passage d'un système de travail du sol (labour) à un système simplifié (travail superficiel ou semis direct) sur les propriétés physiques du sol ainsi sur la répartition des matières organiques et leur évolution. Le travail superficiel et le semis direct conduisent à une plus forte accumulation de matière organique dans le sol qu'avec le labour. Le rapport Carbone/Azote (C/N) de la couche de surface s'accroît en raison de l'augmentation de matière organique particulaire. L'utilisation du traçage isotopique montre que ce changement de rapport C/N résulte de l'accumulation accrue de carbone récent en non-travail du sol (Labreuche et *al*, 2005).

La porosité texturale est peu affectée par le travail du sol (Stengel 1976), elle est par contre étroitement liée à la constitution minérale et organique du sol, ce qui explique les valeurs de l'humidité à différents pF.

**Tableau VIII.** Essai (durée 30 ans) semis direct : effets sur les propriétés physiques (Labreuche et *al*, 2005)

Horizon de surface	0-5 cm	
	Semis Direct	Labour
Teneur en C (%)	2,3	1,1
Densité de solide	2,55	2,60
Densité texturale à l'état sec	1,54	1,79
Humidité à 0,3 kPa (g/g)	0,34	0,27
Humidité à 10 kPa (g/g)	0,29	0,23
Humidité à 5 MPa (g/g)	0,12	0,12

## 1.1 La structure du sol, composante majeure de la fertilité des sols

### 1.1 Définitions

Selon Annabi (2005), Le concept de structure du sol ne fait pas l'objet d'une définition unique et généralement acceptée. En effet, plusieurs définitions de la structure du sol sont adoptées. On peut les classer en trois tendances :

- La structure peut être simplement définie, comme étant la manière dont sont disposées les particules du sol les unes par rapport aux autres (Oades, 1984 ; Musy et Soutter, 1991).
- D'autres définitions font intervenir en plus de la disposition spatiale, la nature et l'intensité des liaisons établies entre les particules constitutives du sol (Manichon, 1982 ; Stengel, 1990).
- Une conception plus globale intègre à la définition de la structure du sol, les propriétés qui déterminent la structure du sol et/ou sont influencées par elle (Dexter, 1988).

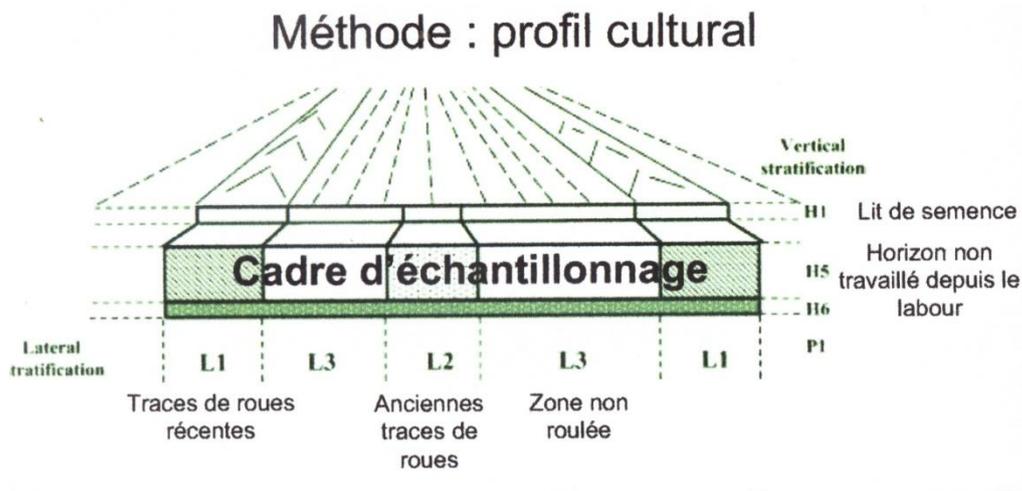
Toutes ces définitions font référence à l'organisation spatiale des constituants, et peuvent être considérées à plusieurs échelles. En effet, la gamme de particules que concernent ces définitions, va des particules élémentaires aux assemblages plus complexes de ces particules. D'autre part, la structure du sol varie dans l'espace et le temps (Stengel, 1990). Ceci est d'autant plus vrai que le volume étudié est proche de la surface et subit de ce fait des sollicitations externes (actions mécanique ou biologiques, climat) de plus grande intensité. La structure d'un sol peut être décrite d'une façon macromorphologique en décrivant la forme et la taille des éléments structuraux visibles sur le terrain. Ce type d'observations peut être abordé selon un déterminisme pédogénétique, correspondant à la structure du sol telle qu'on la suppose générée par les processus de pédogenèse ou bien selon un déterminisme cultural, correspondant à la structure du sol telle qu'influencée par son histoire culturelle (Manichon, 1982). Pour avoir une approche complète et globale, la structure du sol devrait être décrite par les arrangements de ses constituants à différentes échelles. Mais pour de multiples raisons, historiques, techniques et scientifiques, on limite souvent l'étude de la structure du sol aux échelles des assemblages des particules élémentaires en agrégats et en mottes (Calvet, 2003). En effet, les particules élémentaires d'un sol peuvent rester individualisées, en raison d'absence de liens entre elles, ou s'assembler en des unités plus grandes relativement cohérentes et plus ou moins fragmentées, appelées agrégats. Kemper et Cheptil (1966) définissent les agrégats comme des assemblages de particules primaires liées entre elles d'une manière plus intense qu'avec les particules qui les entourent. Les agrégats sont donc délimités par des surfaces de moindre résistance qui prennent naissance sous l'action de perturbations mécaniques d'origine naturelle (pédogenèse) ou anthropique (travail du sol...) (Calvet, 2003). Les vides intra-agrégats constituent des zones de fragilité de ces assemblages.

## 1.2 Méthodes de diagnostic de l'état de la structure du sol

La structure du sol ayant un impact direct sur le fonctionnement du couvert végétal et l'infiltration de l'eau (Richard et al, 2004) sa caractérisation est essentielle. Différentes méthodes peuvent être utilisées, telles que le profil cultural (méthode descriptive) ; des mesures de porosité ; les courbes Proctor etc. il existe différents principes d'observation de l'état structural d'un sol, notamment à l'échelle du profil cultural (Hénin *et al*, 1969 ; Manichon, 1982).

### Profil cultural

C'est une méthode d'observation utilisée pour le diagnostic. Le profil est défini comme une série d'horizons créés par l'action des machines agricoles et la croissance des racines. Le volume de sol étudié est divisé en unités, chaque unité ayant un même historique en terme de mode d'utilisation d'équipements agricoles (Estrade et al, 2004) (Figure 5).



**Figure 5.** La caractérisation morphologique de la structure du sol (Roger – Estrade *et al*, 2004)

Deux niveaux d'observation sont utilisés, l'état intrinsèque des éléments structuraux d'une part et la façon dont ces éléments sont agencés les uns par rapport aux autres d'autre part (Manichon, 1982).

L'évolution structurale d'un sol est liée au cours d'un cycle de culture, aux actions culturales exerçant des effets contradictoires et brutaux et à la variabilité du climat (Manichon et Estrade ; 1990). Lorsqu'un sol subit les effets d'agents extérieurs (facteurs climatiques, organismes vivants, pratiques agricoles), c'est son compartiment structural qui est affecté (Henin et al, 1969).

De même, plusieurs pédologues comme Duchaufour (1965), affirment que la structure du sol dépend :

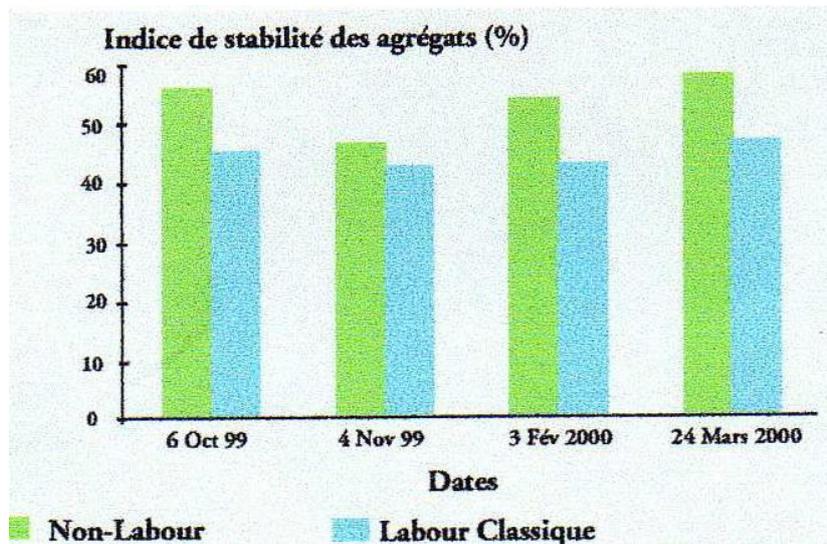
- de la nature de la terre et de la proportion de ses éléments minéraux et organiques,
- du mode de travail mécanique des instruments.

Le concept de profil cultural résulte également d'une étude descriptive du milieu, ce préalable est nécessaire à toute étude rationnelle du sol. Par exemple, s'il se forme en surface une croûte de battance, il est évident que celle-ci doit être étudiée séparément. Sa porosité, ses propriétés mécaniques sont autant de paramètres dont la valeur va modifier le comportement global du profil. On pourrait faire les mêmes remarques en ce qui concerne la semelle de labour.

Pour effectuer une étude correcte des propriétés physique des sols, il faudrait associer des observations qualitatives et des mesures physiques, de manière à raisonner les processus qui se déroulent dans le sol (Manichon, 1982).

### **1.3 Stabilité de la structure**

La structure du sol n'est pas nécessairement permanente, elle peut être modifiée en fonction des circonstances (pluie, vent, tassement par les engins et le piétinement par les animaux...). Ainsi la stabilité de la structure correspond à la capacité d'un sol à conserver son arrangement entre particules solides et vides lorsqu'il est exposé à différentes contraintes. Ces contraintes peuvent être de différentes natures et de différentes intensités, comme par exemple l'impact d'une pièce d'un outil de travail du sol, l'impact de gouttes de pluie ou l'humectation. La résistance des agrégats à des contraintes physiques détermine la sensibilité d'un sol à la battance et à l'érosion (Le Bissonnais, 1996a), la germination et l'enracinement des plantes cultivées (Lynch et Bragg, 1985 ; Angers et Caron, 1998) et aussi la capacité d'un sol à séquestrer du carbone par la protection physique des molécules organiques (Jastrow et Miller, 1997). La matière organique influence la stabilité structurale par plusieurs mécanismes, elle joue le rôle de liant entre les particules du sol et modifie les propriétés hydriques du sol (Abiven, 2004). Certaines études montrent une relation directe entre la teneur en carbone total et la stabilité structurale (Le Bissonnais *et al*, 2002). D'après certains auteurs, ce n'est pas toujours le cas, cela dépend du type de sol ou du test de mesure de la stabilité structurale utilisé (Le Bissonnais *et al*, 1995 ; Le Bissonnais et Arrouays, 1997 ; Chenu *et al*, 2000), ils suggèrent ainsi que la relation n'est probablement pas linéaire et dépend de la nature des interactions particules de sol – matière organique (Le Bissonnais, 1996b). Cependant, tous reconnaissent que les techniques de travail du sol influencent plus ou moins fortement la stabilité de la structure (Figure 6).



**Figure 6.** Influence des techniques de travail du sol sur la stabilité structurale (PNTTA, 2001)

## 1.2 Densité apparente

Les opérations de travail du sol provoquent en général un ameublissement et un décompactage du sol, la densité apparente indique l'état ou la condition du sol. Si la densité des particules est connue, la porosité peut être calculée à partir de la densité apparente. Les changements intervenant dans la densité apparente sont aussi utilisés comme indicateurs du comportement du sol soumis à la pression des tests de compactage (Hoogmoed, 1997).

## 1.3 Porosité

La structure du sol est une propriété fondamentale dans un sol puisqu'elle conditionne plusieurs autres propriétés par leur arrangement dans l'espace, les éléments structuraux ménagent des pores dont l'ensemble du volume, ils définissent la porosité d'un sol. Deux types de porosité sont définis selon l'origine des pores : la porosité texturale formée par l'arrangement des particules élémentaires du sol, et la porosité structurale correspondant à la fraction de porosité en rapport avec l'histoire du matériau : travail du sol, facteurs climatiques, activités biologiques (Stengel, 1979).

La porosité totale peut être aussi subdivisée, selon la taille des pores, en deux parties. La microporosité, correspond aux pores d'un diamètre de l'ordre de 2 à 8  $\mu\text{m}$  dans laquelle l'eau est retenue par des forces capillaires. Les pores de diamètre plus grands correspondent à la macroporosité, où se déroule l'essentiel des processus de transferts d'eau et d'air (Musy et Soutter, 1991). La porosité influence la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol, la capacité à stocker de l'eau et la circulation de l'air. Elle est en relation étroite avec la densité apparente et l'espace poral, en conditionnant les volumes d'air et d'eau, contrôle aussi la vie du sol, en ménageant des

espaces qui facilitent le développement des racines des plantes et la circulation des organismes vivants.

### **1.3.1 Effet des techniques culturales sur la variation de la porosité**

Les modifications du volume poral et sa répartition peuvent être temporaire ou prolongées, le labour augmente la porosité totale de la couche labourée et en particulier sa composante structurale (Hill, 1990). Les pratiques culturales comme le semis direct réduisent la porosité totale (Boon et al. 1976; Pidgem et Soane, 1977; Pagliai et al. 1983). Le pseudo-labour a un effet intermédiaire entre le semis direct et le labour (Hill et Cruse, 1985).

### **1.3.2 Application de la micromorphométrie à divers aspects agronomiques**

En Italie, c'est surtout Pagliai (1983,1985) qui utilisa la micromorphométrie pour étudier l'influence des amendements et des traitements culturaux sur la porosité et en tira des conclusions pratiques pour la gestion des sols, il montra en particulier que :

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

Une approche sur surface polie a été retenue en Belgique (Destain, 1985 in Dridi 1989) pour quantifier la porosité de sols limoneux induite par des machines de travail superficiel et a permis d'observer que :

- le vibroculteur et la herse rotative émiettent plus ou moins le sol et provoquent une localisation de terre fine à quelques centimètres au dessous du niveau du sol (effet de triage des mottes).
- lorsque le rapport « vitesse de rotation sur vitesse d'avancement » de la herse est élevé, l'émiettement du sol est plus important et provoque une diminution de la porosité.
- les différences de porosité induites par les outils se conservent même après le passage de la croskille et du semoir.

Cette technique de quantification de la porosité a été également utilisée aux Etats – Unis dans le but d'évaluer l'érosion provoquée par diverses techniques culturales. Pour ce faire, divers paramètres discriminants de la porosité ont été employés (diamètre équivalent, section, périmètre,...) (Norton et Schroeder, 1985).

En approfondissant ces recherches, des travaux ont permis de montrer que la fonctionnalité des pores ne dépend pas uniquement de paramètres dimensionnels mais également de leur continuité verticale et de leur forme.

Ces deux dernières caractéristiques influencent la plante soit directement en facilitant plus ou moins l'installation et le développement des racines, soit indirectement en agissant sur le stockage et le transfert de l'eau, des gaz et de la chaleur (Bouma et al, 1977).

### **1.3.3 Influence du taux de porosité sur les rendements des cultures**

De nombreux travaux ont mis en évidence une corrélation entre la porosité totale et les rendements des cultures grâce à différentes approches (résistance mécanique, capacité de rétention en eau, vitesse de diffusion de l'oxygène, activité biologique...). Déjà en 1948, Weihmeyer et Hendrikson (cité par Nicou, 1971) ont trouvé une relation entre la densité apparente d'un sol et l'enracinement des plantes. Cherchant une explication à ces phénomènes, Meertens (1964) a montré que pour une même résistance mécanique, la croissance varie avec la teneur en eau, les racines se dirigeaient vers les endroits où l'eau est plus facilement utilisable à condition toutefois de ne pas en être séparés par une couche de sol sec. Nicou (1971), a montré que le rendement de certaines cultures baisse de 8% à 17% lorsque la porosité passait de 45 à 40%.

### **1.3.4 Modification de l'espace poral par le travail du sol**

D'après Jongerius et al, (1972), le taux optimum de porosité d'un sol serait agronomiquement favorable lorsqu'il se situe entre 50 et 60 % avec un rapport macro-microporosité égale à 45/55. Pour Monnier et al, (1973), ce taux serait fonction du type de sol, ainsi, pour un sol équilibré, il serait de 50 % dont 20 % de macroporosité et 30 % de microporosité. Pour Greenland (1981), la répartition optimale de la porosité serait :

- très bonne : > 15 % d'air et 20 % d'eau,
- bonne : 10 à 15 % d'air et 15 à 20 % d'eau,
- modérée : 5 à 10 % d'air et 10 à 15 % d'eau,
- pauvre : 5 % d'air et 10 % d'eau.

Des modifications apportées à l'espace poral par le travail du sol ne concernent que le compartiment structural ou microporosité (Bonne et al, 1976).

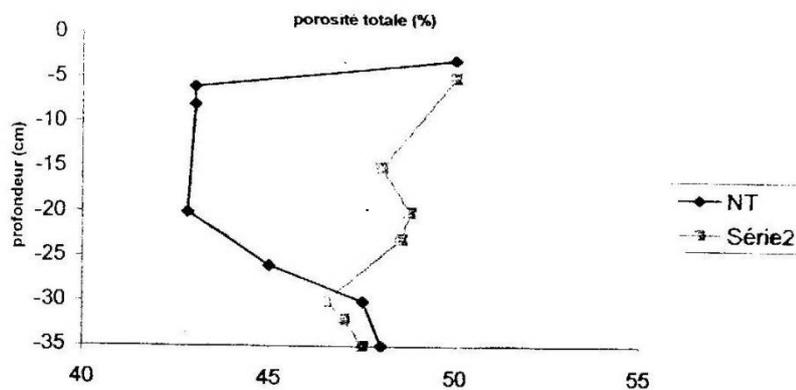
La porosité texturale est généralement peu affectée par le travail du sol (Stengel, 1976), elle est par contre étroitement liée à la constitution minérale et organique du sol, Stengel (1979), a montré que la teneur en matière organique libre était corrélée de façon positive à la porosité texturale

Selon Guerif (1987), la matière organique aurait deux types d'effet sur la porosité texturale, d'un effet purement stérique d'encombrement et un effet mécanique dû à l'élasticité des débris organiques qui confèrent au sol une plus grande résistance aux contraintes.

En conclusion, on peut dire que l'étude des caractéristiques physiques d'un sol et notamment sa porosité nécessite une attention particulière en raison de leur importance.

En effet, toute recherche qui se fixe comme objectif la compréhension des organisations structurales doit tenir compte de leur évolution cyclique. Ainsi, l'étude de l'espace poral du sol n'aura de signification que si elle est suivie à des périodes déterminées par le cycle végétatif de la culture en place, des pratiques culturales et des conditions climatiques (Sebillotte, 1968).

Un état structural massif n'induit pas systématiquement des comportements mécaniques limitant pour l'implantation et le fonctionnement des cultures, mais cet état va jouer un grand rôle sur le système poral. Plusieurs essais de Stengel (1986) ont été effectués à cet égard, il a été constaté dès la première années de mise en place du non travail, une diminution de la porosité totale de la couche préalablement travaillée alors qu'on ne constate pas de modifications significatives sous l'ancien fond de la couche travaillée (figure 7).



**Figure 7.** Incidence de la simplification du travail du sol sur la porosité totale après 12 ans d'essai (Stengel, 1986)

### 1.3.5 Rôle des différents types de pores

#### 3.5.1 Pour les organismes vivants du sol

Au moyen de différentes techniques couplées à l'observation directe du sol, De Leenheer (1967) établit les limites et le rôle de chaque catégorie de pores et ce en fonction de leur diamètre, ceux-ci étant assimilés à des capillaires. Ainsi, il trouve que les insectes, les larves et les vers de terre occupent les fentes et les macropores dont le diamètre est supérieur à 150 $\mu$ m. dans un sol limoneux, cette catégorie représente 10% du volume total des vides.

Les pores capillaires ont été divisés en quatre groupes :

- > 20 $\mu$ m : protozoaires, poils absorbants, jeunes racines, algues
- 10 à 20  $\mu$ m : poils absorbants, bactéries

- 1 à 10  $\mu\text{m}$  : bactéries,
- < 1 $\mu\text{m}$  : ne sont pas accessibles aux microorganismes du sol.

### 3.5.2 Pour le fonctionnement hydrique

Le rôle des différents pores dans le fonctionnement hydrique du sol a été essentiellement abordé grâce à une approche théorique (loi de Jurin) et à une technique qui s'est généralisée (appareil de Richard, 1954). Ainsi, De Boodt (1959) estime que dans ce domaine, trois mesures sont essentielles pour la caractérisation hydrique d'un sol définissant trois catégories de pores :

- Macropores : limite inférieure ou égale à 100 cm d'eau (pF2)  
Soit des pores supérieurs à 30  $\mu\text{m}$  de diamètre équivalent.
- Pores de drainage : limite inférieure ou égal à 330 cm d'eau (1/3 d'atmosphère ou pF 2,5), l'eau retenue correspond à la capacité au champ.  
Soit des pores compris entre 9 $\mu\text{m}$  et 30 $\mu\text{m}$
- Pores d'approvisionnement : compris entre pF 2,54 et 4,19  
L'eau retenue entre les deux limites correspond à l'eau utile  
Soit des pores compris entre 0,2 $\mu\text{m}$  et 9 $\mu\text{m}$ .

**Tableau IX.** Relation entre le potentiel matriciel et le diamètre équivalent théorique des pores (De Boodt, 1959 ; Calembert, 1983)

Potentiel matriciel en cm eau	Potentiel Matriciel en Atmosphère	pF	Bars	Diamètre équivalent théorique ( $\mu\text{m}$ )	Significations pratiques
10		1	0,01	300	Sol engorgé
60		1,78		50	
100		2	0,1	30	Drainage rapide
330	1/3	2,54	0,33	9	Capacité au champ
1 000	1	3	1	3	Diffusion de l'eau ralentie
<b><u>3 000</u></b>	<b><u>3</u></b>	<b><u>3,5</u></b>	<b><u>3</u></b>	<b><u>1</u></b>	<b><u>POUR CERTAINES PLANTES RISQUE DE FENAISON TEMPORAIRE</u></b>
15 500	15	4,2	15	0,2	Point de flétrissement permanent

Il est entendu que ces limites sont tout à fait théoriques et concernent un sol équilibré, elles peuvent donc varier en fonction du type de sol.

### 1.3.6 Distribution volumique de l'espace poral

La théorie la plus admise actuellement par les spécialistes est celle faisant appel à la loi de Jurin, celle-ci permet d'approcher le diamètre équivalent théorique.

#### 3.6.1 Emploi de la loi de Jurin

Pour déterminer la répartition de l'espace poral en groupes de pores selon leur diamètre, on se base sur la relation existant entre la teneur en humidité et le potentiel capillaire de l'eau dans les pores du sol.

La formule de base utilisée est la suivante :

$$h = \frac{2T \cos \theta}{rpg}$$

r : rayon du capillaire (cm)

T : tension superficielle de l'eau (75dynes/cm à 20°)

$\theta$ : Angle de raccordement eau/solide évalué à 0°, ce qui donne  $\cos \theta = 1$  (eau mouillant parfaitement le matériau poreux)

h : pression appliquée en cm d'eau, (hauteur d'ascension capillaire)

p : Masse spécifique de l'eau =1

g : Pesanteur (980cm/s<sup>2</sup>)

Après substitution de ses constantes, elle prend une forme plus simple.

$$\text{Ø} (\mu\text{m}) = \frac{3060}{h}$$

Ø: diamètre des pores ( $\mu\text{m}$ )

h: hauteur d'eau en cm représentant la force de succion

#### 3.6.2 Potentiel matriciel et la notion de pF

Les plantes absorbent l'eau qui se trouve dans le sol par succion. Cette eau est retenue avec une énergie dite "potentiel matriciel" (h) qui croit en valeur absolue lorsque parallèlement la teneur en eau diminue. Pour des raisons pratiques, il est exprimé par son logarithme décimal.

$$pF = \text{Log}_{10} h$$

#### 1.4 Effet de travail du sol sur la rétention de l'eau du sol

La matrice du sol est un système complexe d'agrégats et de particules de taille et de forme différentes. L'eau est retenue dans le sol par des forces qui dépendent du diamètre et de la forme de pores, le rapport entre la force de rétention et le taux d'humidité du sol est exprimé par une courbe, appelée courbe pF. Le travail du sol aura principalement une influence sur les pores les plus larges, les petits se trouvant normalement dans des petits agrégats individuels, ils ne sont pas facilement modifiés par le travail du sol (Hoogmoed, 1997).

La rétention en eau dans le sol est fonction des caractéristiques propre au sol, parmi les plus importantes, on peut citer la contribution directe des constituants du sol tels que les argiles, les matières organiques et les oxydes (Biggore *et al*, 2000). La capacité en eau est l'une des premières conséquences de la texture de sol, c'est un facteur fondamental de la fertilité physique.

Le tableau 10 présente les teneurs en eau à la capacité au champ et au point de flétrissement ainsi que la réserve utile selon les textures (exprimée en mm eau / cm sol).

**Tableau X.** Rétention en eau des sols selon les textures (Jamagne *et al*, 1977).

Classe de texture		Humidité (%) à la capacité au champ Cc	Humidité (%) au point de flétrissement pF	Eau utile (%)	Densité apparente	RU (mm eau/cm de sol)
S		8	3	5	1,35	0,70
SL		12	5	7	1,40	1,00
SA		19	10	9	1,50	1,35
LIS		15	7	8	1,50	1,20
LS		19	9	10	1,45	1,45
LmS		20	9	11	1,45	1,60
LSA		22	11	11	1,50	1,65
LAS		24	12	12	1,45	1,75
LI		17	8	9	1,45	1,30
Lm		23	10	13	1,35	1,75
LA		27	13	14	1,40	1,95
AS		33	22	11	1,55	1,70
A		37	25	12	1,45	1,75
AL		32	19	13	1,40	1,80
ALo	Sédimentaire	29	18	11	1,50	1,65
	Altération	38	25	13	1,30	1,70

La connaissance des propriétés de rétention en eau des sols est particulièrement utile pour gérer les besoins en irrigation et les transferts de soluté dans le sol (Morvan *et al*, 2004). De ce fait, la rétention en eau des sols dépend de plusieurs facteurs, deux sont prépondérants (Tessier *et al*. 1996) : la densité apparente qui est une expression de la porosité, la teneur en eau retenue est fonction de la taille des pores ainsi que la force de

l'énergie de rétention, cette dernière est conditionnée par la texture (Biggore *et al*, 2000), et la profondeur du sol, la capacité de rétention croit en fonction de la profondeur. La texture et la densité apparente apparaissent donc comme des grandeurs déterminantes pour estimer correctement les propriétés de rétention en eau des sols.

L'activité biologique et les pratiques culturales entraînent des modifications de la porosité et par conséquent la rétention en eau du sol (Lamande *et al*, 2003).

Tessier *et al*. (1996), ont souligné que l'extension du système racinaire des végétaux et la demande déterminée par le climat (évapotranspiration) sont aussi des facteurs importants à prendre en compte pour étudier la disponibilité de l'eau pour le développement des plantes.

Les propriétés de " réservoir " sont spécifiques à chaque type de sol, leur connaissance est nécessaire à la mise en place d'un programme d'irrigation rationnel.

La réserve utile d'un sol peut être calculée selon la formule suivant :

$$\mathbf{Ru \text{ (mm)} = (H_{CR} - H_{pfp}) \times D.a \times z \text{ (dm)}}$$

Ru: réserve utile (mm)

Hcr : humidité à la capacité de rétention (%)

Hpfp : humidité au point de flétrissement permanent (%)

z: profondeur d'enracinement (dm)

D.a: densité apparente

Le volume occupé par les racines, qui est d'une grande importance pour l'absorption de l'eau, est variable selon la nature de la plante et du type de sol (les racines du blé s'enfoncent à 50 cm dans un sable, mais atteignent 1m dans un limon (Duchaufour, 1991).

#### **1.4.1 Réserve facilement utilisable**

Les propriétés de rétention hydrique des sols font que toute l'eau stockée dans la réserve utile n'est pas disponible pour les plantes. La quantité d'eau réellement disponible pour les plantes est appelée la réserve facilement utilisable (RFU).

La réserve facilement utilisable dépend, non seulement de la profondeur racinaire, mais aussi de la densité de l'enracinement et de la structure du sol. Elle est de 1/2 pour un sol argileux ou limoneux et de 2/3 pour un sol sableux (Poirée et Ollier, 1971).

## 1.4.2 Conductivité hydraulique dans les sols saturés et non saturés

La conductivité hydraulique des sols saturés dépend principalement des larges pores. En effet, ceux-ci seront les premiers à être drainés si le taux d'humidité diminue. En cas de faibles taux d'humidité, seuls les pores serrés contribueront au débit de l'eau dans le sol. Le compactage du sol induit par le travail du sol aura alors moins d'influence sur la conductivité saturée mais plus d'influence sur la conductivité non saturée, surtout aux faibles humidités. Ce phénomène est particulièrement important parce qu'il influence les mouvements d'eau proches de la surface du sol: le roulage d'un sol peut entraîner une évaporation continue à cause d'un surplus de pores serrés remplis d'eau. Les larges pores transportent efficacement des grandes quantités de pluie ou d'eau d'irrigation après un labour profond (Hoogmoed, 1997)

## 1.5 Relation entre la structure et les autres propriétés d'un sol

La structure du sol influe sur les autres propriétés (tableau 11)

**Tableau XI.** Propriétés biologique, chimique et physique influencées par la structure du sol (Diaz-Zorita *et al*, 2003)

Propriété	Action de la structure du sol
<b>Biologique</b>	- Protection de la faune et la microflore du sol - Cycles biogéochimiques - Croissance des plantes
<b>Chimique</b>	- Sorption-désorption des composés organiques et inorganiques
<b>Physique</b>	- Erosion par l'eau et le vent - Infiltration et mouvement de l'eau et de solutés - Circulation des gaz, aération

## 2. Les propriétés biologiques du sol

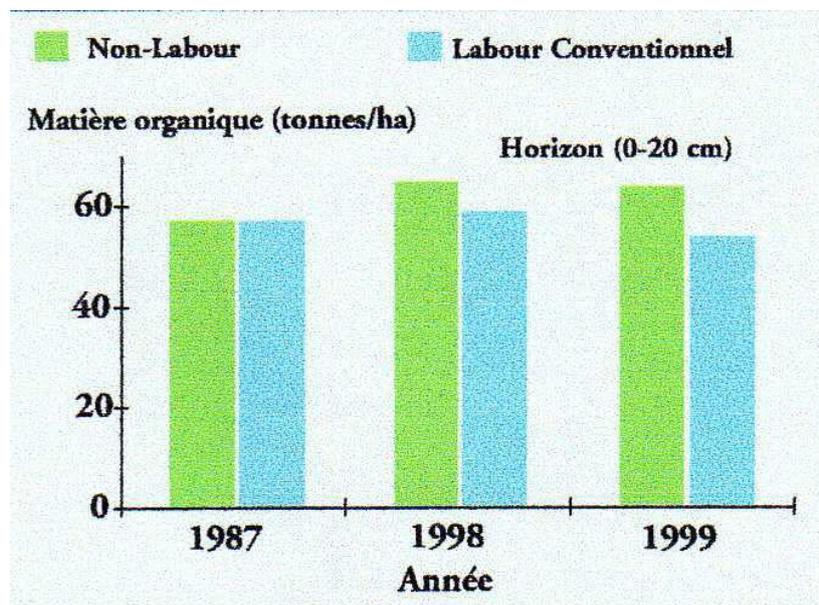
### 2.1 Matières organiques

Selon Labreuche *et al*, (2005), les effets du travail du sol sur la dynamique de la matière organique du sol ont été étudiés depuis longtemps pour leurs conséquences sur les propriétés physiques, l'érosion, la fertilité, et la perte de nutriments. Plus récemment, les préoccupations en matière d'émissions de gaz à effet de serre ont conduit les scientifiques à examiner le potentiel des sols à stocker du carbone organique, en particulier sous l'influence des pratiques culturales. Il existe une forte interaction entre les pratiques de travail du sol et la dynamique des matières organiques du sol (Figure 8). Le travail du sol et le non travail détermine les modalités d'incorporation et de décomposition des matières organiques fraîches. Ces matières organiques en décomposition modifient en retour les propriétés physiques du sol et en particulier sa structure. On ne peut donc dissocier aisément les effets du travail du sol sur la

décomposition des matières organiques fraîches et les effets affectant la structure du sol et ses propriétés.

- dans les sols travaillés de façon classique sous un régime de monoculture, la perte de matière organique entraîne une dégradation structurale,
- les pratiques culturales qui incorporent au sol les résidus de culture sont plus susceptibles de dégrader la qualité du sol,
- l'intégration au sol des résidus sous un régime de monoculture dégrade le plus la structure du sol.

Pour le semis direct, les résidus végétaux ne sont plus enfouis, les couches de terre ne sont plus mélangées, il n'y a plus de terre fine produite dans le profil cultural. L'absence de retournement du sol conduit à long terme à une très forte concentration en surface en matières organiques, phosphore, potasse et à une acidification de cet horizon. On observe ainsi une nette augmentation de la stabilité structurale dans les premiers centimètres du sol qui limite la battance, améliore la capacité d'infiltration de l'eau et réduit le ruissellement.



**Figure 8.** Influence des techniques de travail du sol sur les stocks de matière organique (PNTTA, 2001)

### **2.1.1 Localisation de la matière organique en relation avec les techniques de travail du sol**

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 (Labreuche *et al.*, 2005). Sur l'étude du site de Boigneville, ce gradient très fort est observé dans les 8 premiers centimètres, alors qu'il n'y a pas de différences observées en dessous de 15 cm. En effet, dans le traitement "semis 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". En raison des fortes différences constatées dans la localisation du carbone récemment incorporé en semis direct, les propriétés physiques du sol sont en surface localement plus affectées par la dégradation des matières organiques qui y sont concentrées. Pour les situations sans labour, les biotransformations des matières organiques sont localisées dans les tous premiers centimètres du sol.

### **2.1.2 Répartition et contact des résidus végétaux avec le sol**

Le travail du sol détermine plusieurs facteurs dont la localisation initiale des résidus de récolte, il influence par conséquent la quantité de résidus laissés à la surface du sol, la quantité de matière organique fraîche incorporée, la profondeur d'incorporation et la distribution spatiale des résidus. Indirectement, la localisation initiale détermine donc les conditions physiques (température, humidité) auxquelles les résidus sont soumis lors de leur décomposition et donc la vitesse de décomposition. La distribution spatiale des résidus de culture incorporés par le travail du sol est généralement mal connue, bien que le sol environnant les racines, les micro-organismes et les flux d'eau puissent être considérablement affecté. La croissance microbienne et sa décroissance au cours de la décomposition des résidus affectent aussi les propriétés physiques du sol

Un des facteurs modifié par le travail du sol est le "contact" entre les résidus végétaux et le sol. Le contact résidus-sol dépend des caractéristiques intrinsèques des résidus (quantité, morphologie, composition biochimique), des fragmentations consécutives aux opérations de récolte et de travail du sol, et enfin de la localisation initiale des résidus. Plus le contact est intime, plus la décomposition est rapide, probablement en raison d'une colonisation par les décomposeurs qui serait facilitée et d'une humidité souvent plus favorable (Recous, 1994 ; Chenu *et al.*, 2000). L'autre facteur important est la disponibilité en azote, élément indispensable à la croissance des micro-organismes décomposeurs. Dans le cas de résidus contenant peu d'azote (ex. les pailles de céréales), l'essentiel des besoins en azote est couvert par l'azote minéral du sol fourni par la couche dans laquelle les résidus sont incorporés. Un contact limité résultant d'une localisation en surface ou d'une distribution hétérogène conduit généralement à un ralentissement de la décomposition dû à une limitation de la disponibilité de l'azote des micro-organismes. Ces facteurs (contact, disponibilité en azote) dépendent des caractéristiques initiales des résidus, les résidus riches en azote ou

facilement fermentescibles sont beaucoup moins dépendants de la qualité du contact avec la matrice du sol et de la disponibilité en azote

### **2.1.3 Effets des techniques culturales sur l'activité biologique du sol**

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

Les micro-organismes se développent au contact des résidus de récolte, au cours de leur décomposition, ils affectent les propriétés physiques du sol, en particulier son agrégation. Ainsi, la présence ou l'absence des résidus en mulch à la surface modifie en effet de nombreux facteurs physiques tels que la vitesse du vent à la surface du sol, la teneur en eau, la température et la teneur en azote. En conclusion, le travail du sol aura donc pour but la restauration de la structure et le rétablissement d'une porosité normale dans la couche utile, ces deux phénomènes sont générés sur la préparation physique du sol.

## **3. Propriétés chimiques du sol**

### **3.1 Effet de travail du sol sur les stocks et flux de C et N**

D'après Joao Carlos et *al* (2006), le passage du labour profond au semis-direct induit des modifications dans la structure du sol et la localisation de la matière organique du sol (MOS) et des résidus de culture. Ceci entraîne des modifications dans le climat du sol (température et humidité) et certaines propriétés biologiques, chimiques et physiques du sol. La combinaison de toutes ces modifications a une influence importante sur les transformations de l'azote et du carbone dans le sol. Une étude a été menée afin de quantifier les différences de stocks et de flux du carbone et de l'azote entre différents systèmes de travail du sol différenciés depuis 32 années dans un sol limoneux de grande culture du bassin parisien. Cette étude a été essentiellement focalisée sur les variables qui ont un impact agronomique ou environnemental tels que le carbone et l'azote organique du sol. Deux systèmes de travail du sol ont été étudiés : le labour (CT) et le semis-direct (NT). NT présente des stocks de carbone 5 à 15 % plus importants et des stocks d'azote 3 à 10% supérieurs à ceux mesurés pour CT, mais ces différences n'ont pas toujours été statistiquement significatives. Les concentrations de C et N diminuent avec la profondeur en NT alors qu'elles sont distribuées de façon homogène dans la couche labourée en CT. Le carbone et l'azote additionnel dans NT se situent dans des agrégats.

Les résultats suggèrent que les stocks de C et N, plus importants pour NT, peuvent être attribués à :

- La formation de macroagrégats plus prononcée dans la couche 0-5 cm due à l'activité microbienne et aux stocks de matière organique stable (MOS) plus importants.

- La meilleure protection de la MOS dans la couche 5-20 cm due à une porosité du sol plus faible et à l'absence de la destruction de la structure du sol par le travail du sol ou le climat. Les modalités de travail du sol n'ont pratiquement pas eu d'influence sur les dynamiques de l'eau et de nitrates dans le profil (0-120 cm) du sol. Ces résultats montrent que la fourniture d'azote minéral par le sol est similaire dans les différents systèmes de travail du sol étudiés à Boigneville. L'émission de  $N_2O$  a eu tendance à être plus élevées pour NT que pour CT. Les émissions de  $CO_2$  en absence de couvert végétal ont pu être plus importantes pour l'un ou l'autre des systèmes de travail du sol en fonction des conditions climatiques et de la localisation des résidus de culture. Le cumul des quantités de  $CO_2$  émis par NT a été significativement plus important que pour CT. Les résultats des différences de stocks et de flux de C et N entre les différentes modalités de travail du sol ont montré que la minéralisation potentielle du C et N en conditions contrôlées n'a pas été moins importante pour NT comparé à CT. Par ailleurs, la protection physique de la MOS contre la minéralisation du C et N a été évaluée par incubation d'échantillons de sol dont les structures entre 50  $\mu m$  et 12,5mm ont été progressivement détruites. Quatre zones structurales ont été considérées : zones avec une structure poreuse ou compacte pour CT et horizons 0-5 et 5-20 cm pour NT. Les résultats indiquent que la destruction de la structure de l'horizon 0-5 cm de NT induit une faible augmentation de la minéralisation de l'azote et pas d'augmentation pour la minéralisation du carbone. La protection de la matière organique du sol a lieu pour la couche 5-20 cm du NT. Par ailleurs, les différences de décomposition de la matière organique des sols entre CT et NT au champ ont été influencées par des différences de la température et de l'humidité du sol. Toutefois ces différences ont été souvent faibles et les conditions n'ont pas été systématiquement plus favorables pour la décomposition dans l'un ou l'autre des systèmes de travail du sol. Néanmoins, la plus grande quantité des résidus de culture accumulée à la surface du sol dans NT fait plus que compenser la plus faible vitesse de décomposition des résidus en surface pour ce traitement, comparé avec la situation de résidus enfouis pour CT. En définitive, c'est la teneur en eau du mulch de résidus qui contrôle le plus l'amplitude de la différence de vitesse de décomposition des résidus entre CT et NT.

Pour Labreuche *et al*, (2005), l'essai de Boigneville a montré que la vitesse de décomposition de la matière organique native du sol, calculée sur 17 ans était deux fois plus rapide en présence de travail du sol comparé au semis direct. Cela confirme que le passage aux techniques simplifiées de travail du sol s'accompagne d'une diminution de la vitesse de minéralisation. Le taux d'humification varie également, il semble plus faible dans le traitement "semis direct" que dans les autres traitements. L'absence de travail du sol se traduirait donc par une forte diminution du coefficient d'humification.

## **Chapitre III : La culture du blé dur**

### **1 Importance et principales caractéristiques du blé**

#### **1.1 Importance agronomique et socioéconomique**

Le blé est une des trois céréales importantes cultivées dans le monde, la surface réservée à cette culture est de 743 millions d'hectares (FAO, 2000), 35% de la population mondiale consomme ce produit comme aliment de base.

Le rendement mondial du blé a évolué rapidement durant la deuxième moitié du XX<sup>ème</sup> siècle, principalement sous l'impulsion des progrès techniques et des innovations apportées au niveau des méthodes de production (mécanisation, engrais).

Le blé est un terme générique qui désigne plusieurs céréales appartenant au genre *Triticum*, ce sont des plantes annuelles de la famille des graminées ou poacées, cultivées dans de très nombreux pays.

La production mondiale du blé s'est élevée à 557 millions de tonnes en 2003 (source F.A.O).

#### **1.2 Situation et répartition des céréales en Algérie**

Les céréales occupent en Algérie une grande place dans l'alimentation de la population, la consommation par habitant et par an est estimée à environ 185 kg (Feliachi, 2000).

Cependant, la production végétale et plus particulièrement celle des grandes cultures (céréales) demeure faible et ne suffit pas à couvrir la demande de la population algérienne qui ne cesse de croître. Cette faiblesse accroît la vulnérabilité et la dépendance alimentaire de l'Algérie vis-à-vis de l'extérieur. Le coût des importations agroalimentaire s'élève annuellement à deux milliards de dollars, les céréales en représentent 30%, soit 600 millions de dollars environ (Zaghouane, 2000).

D'après les statistiques agricoles du Ministère de l'agriculture et du développement Rural (2003) la céréaliculture occupe sur le plan agricole une place prépondérante avec une superficie de 5.5 à 6 millions d'hectares, ce qui représente 60% de la S.A.U.

#### **2.1 Exigences en sol**

Le blé est une plante exigeante qui demande des sols profonds, à structure grumeleuse, perméable et fraîche, riches en limons et matière organique.

#### **2.2 Précédent cultural**

L'état structural de la parcelle au moment du passage du premier outil de travail du sol est le résultante des influences cumulées de la conduite de la parcelle depuis son exposition aux facteurs extérieurs cet état résulte des effets consécutifs d'un passé ancien (histoire culturelle) et du précédent cultural.

D'après Soltner (1970), un précédent cultural pour le blé doit libérer le sol suffisamment tôt pour que les activités de préparation du sol et du semis du blé puissent se faire au bon moment, laisser une terre propre, bien structurée, riche en éléments organiques et minéraux.

### **2.3 Exigences agrotechniques**

L'état structural de la couche labourée du sol a une influence sur l'évolution de la profondeur d'enracinement (Verdier, 1990). La perte de rendement liée au compactage et au mauvais état structural du sol peut atteindre 15 à 20 %.

Un léger tassement doit être appliqué à ce mélange structural pour assurer un meilleur contact entre grain et sol.

Benzohra (1996) a travaillé sur deux types de sol différents à savoir un sol limoneux argileux et un sol limoneux, a enregistré les meilleures performances de la plante avec une chaîne d'outils donnent beaucoup de terre fine dont le diamètre est inférieur à celui de la graine, par ailleurs, un léger tassement avec une roto herse abouti à une densité de levée assez importante contrairement à d'autres essais ou le rouleau lisse a été utilisé.

## **3. Conduite culturale de blé dur**

### **3.1 Mise en place**

La date de semis joue un rôle déterminant sur le nombre d'épis. Dans le cas du semis tardif, il faut augmenter la densité de semis pour obtenir le même nombre d'épis (Couvreur, 1981). Tandis qu'un semis précoce réduit la phase levée de 10 jours, et permet une levée sans pertes et homogène. Avec un écartement de 20 à 25 cm et de 2 à 4 cm de profondeur et une densité de 300 à 350 grains/m<sup>2</sup>, selon la faculté germinative, le poids de mille grains, la pureté variétale, une bonne préparation du sol et les conditions pédoclimatiques de la région (I.T.G.C, 1995).

### **3.2 Profondeur de semis et effets sur la germination.**

La profondeur élevée entraînera une mauvaise levée et une faible profondeur entraînera une mauvaise germination et un enracinement superficiel qui limitera l'enracinement de la plante au sol.

Plusieurs auteurs stipulent que la profondeur minimale de semis est de l'ordre de la taille de la graine, et la profondeur maximale d'ordre de trois fois la taille de la graine.

Les racines des céréales et plus particulièrement celles du blé sont du type fasciculé réduit, s'étendent verticalement et obliquement à une profondeur peu importante, leurs répartitions en profondeur n'est pas localisée uniquement dans la

couche de terre travaillée par les outils aratoires, elles pénètrent plus ou moins profondément dans le sous-sol quand sa structure le permet.

Selon Diehl (1957), la masse des racines fasciculées reste inférieure pour les plantes à racines pivotantes. Le tableau 13 présente la répartition des racines selon la profondeur.

**Tableau XII.** Répartition des racines en fonction de la profondeur (Diehl, 1957)

Plante	Profondeur (cm)	Racines % en poids	Auteur
Blé	0-25	55	Muntz et Girard
Orge	0-25	61	Muntz et Girard
Avoine	0-25	68	Muntz et Girard
Pois	0-30	71-94	Boonstra
Luzerne	0-25	45	Muntz et Girard

Nous constatons avec les résultats de ce tableau, que le développement des racines dépend de la profondeur de travail réalisé par l'outil. Pour le blé, une profondeur de travail atteignant 25cm, suffit pour produire 50% de matière sèche des racines par rapport au poids total de la plante (Diehl, 1957).

### 3.3 Fertilisation

L'état du sol tout au long du développement de la culture, de la germination jusqu'à la maturité, a une influence certaine sur la disponibilité des éléments nutritifs qui doivent être facilement utilisables par le système racinaire.

#### 3.1 Fertilisation azotée

C'est le premier facteur de production des cultures céréalières, les besoins de blé dur en azote s'élèvent selon de nombreux auteurs à 3,5Kg d'N/qx de grains (Benzohra, 1996) sous formes d'ammonitrate de préférence ou de solution azotée (urée ou sulfate d'ammonium) et fractionnée en deux ou trois apports, soit en début tallage, début montaison et parfois même à l'épiaison (ITGC, 1994).

#### 3.2 Fertilité phospho-potassique

Pour le phosphore, les besoins sont compris entre 1,3 à 1,6 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> par quintal de grain, ce fertilisant fait partie des engrais de fonds et peut être épandu avant les semis et enfoui durant le labour. Tandis que pour la potasse, les besoins sont situés entre 1,5 à 4 kg de K<sub>2</sub>O<sub>5</sub> par quintal de grain, cet engrais doit être épandu avant les semis, en même temps que le phosphore.

### 3.4 Élaboration du rendement

Les outils de préparation du sol ou de semis ont un effet sur le sol, certains trient les mottes pour les positionner en surface comme c'est le cas des outils à dents. Les éléments semeurs peuvent aussi écarter des éléments grossiers, un diagnostic du lit de semence doit donc s'attacher à observer l'état structural aux alentours immédiats de la semence (Harrad, 2003).

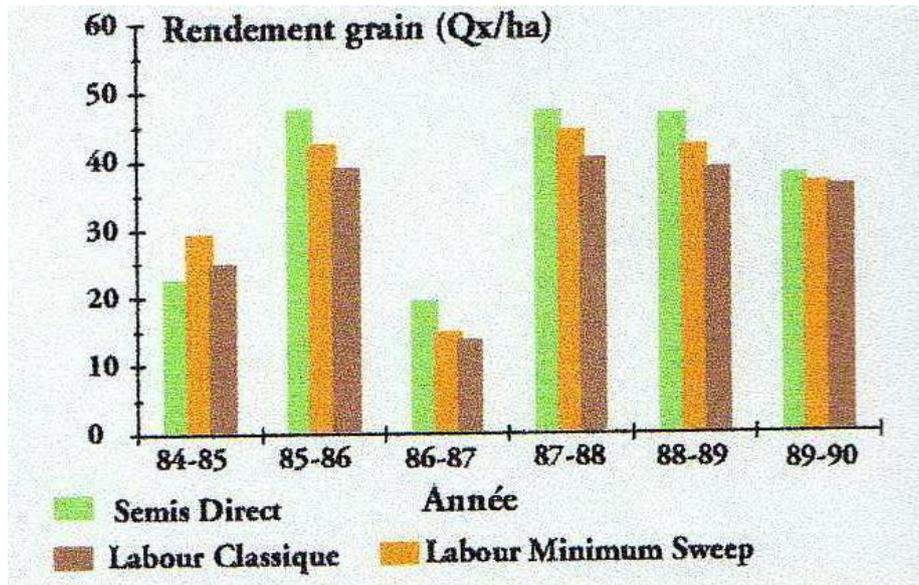
Les conséquences de l'intervention d'un outil de travail du sol ne se limitent pas uniquement au seul domaine de la modification mécanique de l'état structural. L'un des nombreux domaines où le travail du sol a une influence certaine est celui de la conservation de l'eau dans la couche arable du sol.

### 3.3 Effet du travail du sol sur le rendement de blé dur

**Tableau XIII.** Comparaison des rendements du blé d'automne en fonction du système de travail du sol (Céréales, Travail du sol 1986-1989).

Technique de travail du sol	Rendement comparatif <sup>1</sup>		Nombre de comparaisons par paires
	t/ha	bo/ac	
<b>Charrue à socs c. travail réduit du sol</b>	4,90 c. 5,01	72,9 c. 74,6	141
<b>Charrue à socs c. semis direct</b>	3,93 c. 3,90	58,4 c. 58,1	42
<b>Travail réduit du sol c. semis direct</b>	4,23 c. 4,19	63,0 c. 62,4	111

D'après les travaux ayant comparé le rendement du blé d'automne soumis à diverses méthodes de travail du sol, aucune des techniques ne semble présenter un avantage quelconque sur les autres : travail du sol à l'aide de la charrue à socs, travail réduit du sol et semis direct. Si les rendements ne sont pas beaucoup influencés par le travail du sol, un bon contact sol-semence et un taux d'humidité du sol propice à la germination sont par contre essentiels. Le choix de la méthode de travail du sol aura des répercussions sur d'autres aspects du système cultural, il sera tenu compte de facteurs tels que la fertilité du sol, l'incidence de la maladie et la lutte contre les mauvaises herbes, de manière à s'assurer des cultures hautement performantes et rentables.



**Figure 9.** Effet du système de travail du sol sur le rendement en grain (PNTTA, 2001)

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

Les racines jouent un rôle fondamental dans le fonctionnement et la production des plantes, elles constituent également une source de matière organique pour le sol. C'est même parfois la seule restitution régulière dans beaucoup de système de cultures en zone pauvre en matière organique il est donc important pour la production de la culture, mais aussi pour le maintien de la fertilité du sol, d'avoir un système racinaire bien développé, notamment en profondeur (Chopart, 1997). Un bon développement racinaire des cultures est un facteur essentiel de leur productivité et surtout de leur tolérance aux aléas, en particulier, climatiques (Maertens, 1964; Chopart et Nicou, 1976). Un des rôles essentiels du travail du sol est donc de faciliter la croissance des racines dans ce milieu contraignant. Il permet souvent de diminuer la résistance du sol à la pénétration des racines à travers une amélioration de sa structure et parfois de son humidité. Il améliore aussi l'aération du sol, facilitant les échanges gazeux au niveau de la racine. Le système racinaire devrait donc être un critère important d'évaluation, par les agronomes et les agriculteurs, de la nécessité ou non d'une amélioration des caractéristiques physiques du profil cultural par le travail du sol, puis après réalisation, de leur efficacité, malheureusement les systèmes racinaires des cultures sont encore peu connus car ils sont difficiles à observer au champ.

## 2. Méthodes d'études des systèmes racinaires

La méthode la plus simple et la plus ancienne pour observer les racines est de creuser une fosse à proximité de la plante avec une paroi verticale à proximité du pied, de dégager les racines avec un couteau et de les observer. C'est la technique du " profil cultural " très utilisée dans l'école française d'agronomie (Henin et *al*, 1960). La technique offre l'avantage d'être facile à mettre en œuvre. Elle permet aussi de relier la répartition du système racinaire aux caractéristiques locales du milieu. C'est un très bon outil de diagnostic rapide de l'état du sol et des effets d'une intervention culturale. Elle ne permet pas toutefois d'obtenir des données quantitatives permettant de comparer ou de suivre objectivement des situations dans l'espace et dans le temps. Des travaux plus récents ont permis d'obtenir des informations plus objectives à partir de profils culturaux, mais la technique d'observation est alors plus complexe (Manichon, 1982).

## 3. Influence de la résistance du sol à la pénétration et la croissance des racines

Certaines expériences en pots réalisées par Maertens (1964 in Duthil 1973) permettent de préciser la part due réellement à des difficultés mécaniques de pénétration dans les réactions du système racinaire. Dans un premier essai de Stanford, Maertens a mesuré l'élongation des racines d'orge sur un sol sablo-limoneux amené à deux porosités différentes par un tassement plus ou moins fort, cinq niveaux de taux d'humidité avaient été adoptés pour chacune de ces porosités (35 et 50 %). Le poids des parties aériennes étant comparable pour les deux porosités et les différentes humidités. Les écarts observés dans l'élongation des racines étaient attribués aux différences de milieu, indépendamment des conditions végétatives : 10.88 cm pour les porosités 50 %, et 4.48 cm pour celles de 35 % avec signification statistique de 1 %. La régression liant la longueur moyenne des racines avec la résistance mécanique n'étant pas une droite comme celle trouvée par Taylor et Gardner (1963 in Duthil 1973). Selon Maertens (1964), la faible aération pour la porosité 35 % a aussi joué son rôle.

Le deuxième essai porte sur trois humidités et trois porosités différentes les unes des autres, il constate que la résistance à la pénétration a un rôle nettement plus important que celui de l'humidité et de la porosité (tableau 15).

**Tableau XIV.** Effets de la porosité, de l'humidité et de la résistance à la pénétration sur le développement de la plante (Maertens (1964 in Duthil 1973))

Résistance à la pénétration (g/cm <sup>2</sup> )	Porosité (%)	Humidité (%)	Longueur moyenne des racines (cm)
700 (plus ou moins 100)	45	9	6,53
	42,5	12	6,32
	40	15	6,63
			Moyenne de 6,16
2700 (plus ou moins 100)	37,5	9	3,00
	35	11	3,17
	32,5	13	3,32
			Moyenne de 3,16

Le labour a donc, en moyenne, un effet favorable sur le développement des systèmes racinaires, il améliore en particulier la vitesse de croissance en début de cycle ainsi que la colonisation du sol en profondeur. Il faut attribuer cet effet à une modification de la porosité du sol et à une réduction de la résistance mécanique du sol à la pénétration des racines, car ce sont les deux propriétés physiques du sol qui sont les plus modifiées par le labour (Charreau et Nicou, 1971; Nicou, 1977). Toutefois, l'importance de l'effet du travail du sol sur le système racinaire dépend largement de l'état physique initial du profil cultural. Dans un sol déjà bien structuré au départ (effet résiduel d'un travail, défriche récente, longue jachère), les modifications de l'état physique du sol dues au travail et donc les effets sur l'enracinement seront moins nets ou même inexistantes, d'où un effet du travail du sol sur le système racinaire plus irrégulier (Chopart *et al*, 1981). Le travail effectué doit aboutir à un profil motteux sans discontinuités et sans semelle de labour. Cet état peut bien sûr être obtenu par d'autres outils que la charrue, ces différences interspécifiques dans l'effet du travail du sol peuvent, en partie, expliquer des différences de comportement au labour des cultures.

**Tableau XV.** Effets du travail du sol sur la densité racinaire des principales cultures annuelles (Chopart et Nicou, 1976).

Culture	Profondeur (cm)	Densité racinaire	
		semis direct	labour
Mil	0-10	0,764	0,792
	10-20	0,187	0,277
	20-30	0,065	0,072
Sorgho	0-10	1,505	1,652
	10-20	0,337	0,429
	20-30	0,135	0,132
Maïs	0-10	0,865	1,176
	10-20	0,377	0,615
	20-30	0,151	0,187
Riz pluvial	0-10	0,865	1,257
	10-20	0,228	0,507
	20-30	0,068	0,192
Arachide	0-15	0,287	0,318

Sur un même terrain, il existe des différences de comportement d'une espèce à l'autre (Chopart, 1986), des explications à cette grande variabilité de l'effet du travail du sol sont nécessaires pour comprendre les différentes interactions. Celles-ci peuvent avoir pour origine l'état physique du sol initial plus ou moins bon, la sensibilité de l'espèce à l'état du profil cultural, la qualité variable du travail, l'intervention de facteurs limitants la manifestation de l'effet du travail du sol notamment les carences minérales, ou enfin, la variété est inadaptée.

Pour tenter d'expliquer les résultats variables du travail du sol et aller vers une modélisation des processus, il faut disposer:

- d'un schéma d'analyse reliant la technique à la production, en intégrant le milieu physique (sol, climat), l'utilisation de l'eau pluviale et le peuplement végétal, en particulier l'enracinement,
- d'outils de diagnostic in situ opérationnel en milieu paysan (évaluation des racines, termes du bilan hydrique, etc.)

De façon simplifiée, un travail du sol profond améliore la perméabilité du sol en surface, la croissance de la plante, l'utilisation et l'efficacité de l'eau consommée (Chopart (1997)). L'amélioration de la production finale dépend, elle, du degré de sécheresse subi pendant la période de reproduction. S'il est relativement modéré, le travail du sol, comme d'autres techniques d'intensification (engrais), améliore donc le potentiel de production mais augmente également le risque en cas de sécheresse située durant la phase critique de formation de la production utile (épiaison, floraison des céréales). On doit donc raisonner les choix de travail du sol en fonction des critères classiques (disponibilité en matériel et en temps, coûts, effets moyens attendus), mais aussi en termes de risque. Le risque climatique entraîne une variabilité de l'efficacité de la technique, augmentant donc le risque économique. Le choix raisonné d'une technique de travail du sol ne peut donc concerner que les milieux représentatifs des terrains d'étude. Il n'est pas possible de généraliser ces résultats à d'autres milieux ou à de vastes régions sans analyse critique. Dans certains milieux, le travail profond à la charrue sera la meilleure solution (ou la moins mauvaise); dans d'autres situations, parfois très proches géographiquement, des techniques de semis direct seront préférables. En matière de travail du sol, partout, mais surtout dans les zones à risque climatique, le rôle du chercheur du développement ne peut être que d'aider à une décision raisonnée. Ce choix local doit se faire à partir d'une connaissance de l'environnement physique, d'un référentiel d'effets des techniques de travail du sol pouvant être obtenu et d'outils de diagnostic agronomique.

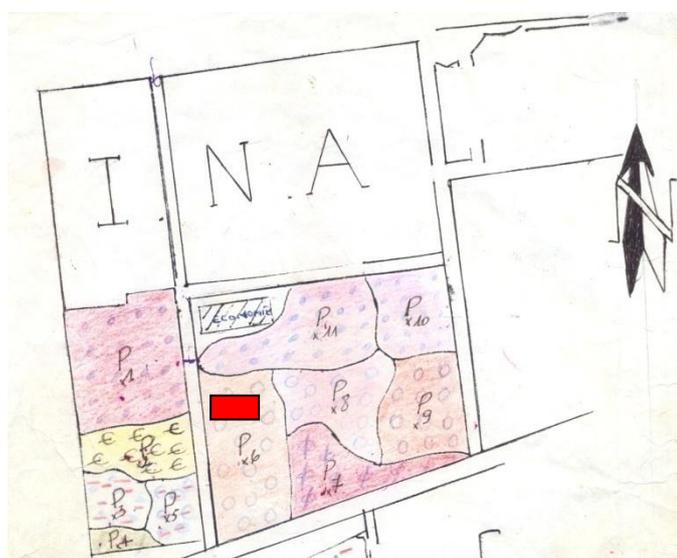
## PARTIE II : MATERIEL ET METHODES

### Chapitre I : Matériel sol

#### 1. Localisation du site d'expérimentation

L'expérimentation a été menée au sein de la station d'expérimentation de l'Institut National Agronomique d'El-Harrach, ses coordonnées Lambert sont les suivantes :

Altitude : 48m  
Latitude : 36' 43' Nord  
Longitude : 3° 08' Est



 Site de l'expérimentation

**Figure 10.** Extrait de la carte pédologique de la station d'expérimentation de l'I.N.A (Abib et Haddab, 1995).

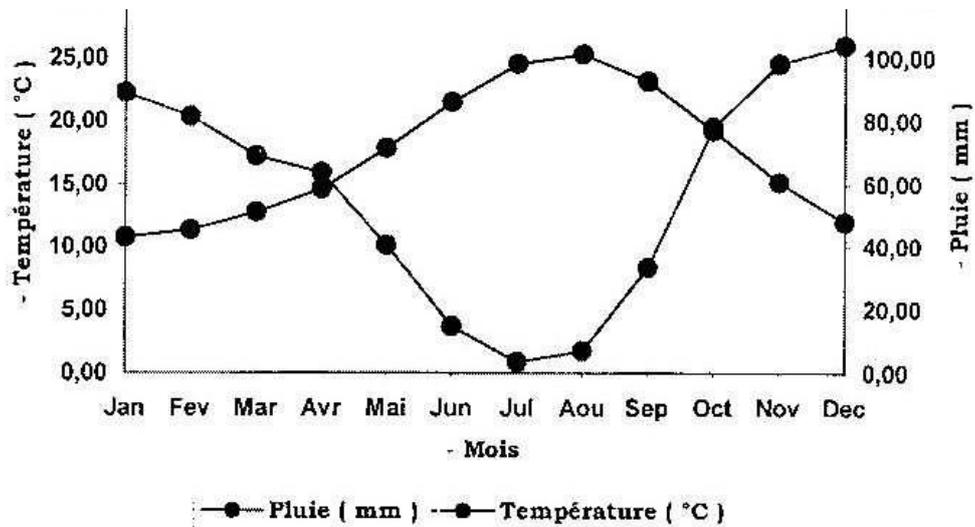
#### 2. Caractéristiques des conditions de l'expérimentation

##### 2.1 Caractéristiques climatiques générales

La zone d'étude fait partie de la plaine de la Mitidja Est, elle est caractérisée par un climat méditerranéen à étage bioclimatique subhumide à hiver doux et pluvieux et un été chaud et sec (Aidaoui et Hartani, 2000).

Le diagramme ombrothermique de cette zone (figure 11), établi pour une période allant de 1952 à 2004, montre qu'on peut distinguer deux périodes :

- une période humide et froide, allant de janvier jusqu'au mois d'avril, puis du mois d'octobre jusqu'à décembre.
- la seconde période chaude et sèche est comprise entre le mois de mai et le mois d'Octobre.



**Figure 11.** Diagramme ombrothermique (Station météorologique de Dar el Béïda, 1952-2004).

### 2.1.1 Données climatiques générales.

Pour déterminer le climat du site d'étude, nous avons utilisé les données de la station météorologique de l'Institut National Agronomique d'El Harrach (1994-2004).

**Tableau XVI.** Précipitations mensuelles (mm), températures moyennes mensuelles (C°) et humidité relative (%).

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyen mensuelle	Total
<b>Tmoy. (°C)</b>	12,4	11,7	14,6	15,1	18,4	22,4	23,1	23,9	23,7	20,1	15,7	13,2	17,8	
<b>P (mm)</b>	91,6	69,6	48,4	64,5	49	9	3	15,9	37	43,6	91,5	89,1		610,8
<b>HR (%)</b>	75,7	77,1	72,2	70,1	73,4	64,9	57,3	6,5	67	71,1	77,6	76,7	65,8	

Le tableau 16 montre que :

- les précipitations sont enregistrées sous forme de pluies abondantes en hiver et sont irrégulières au cours de l'année. La moyenne annuelle de la pluviométrie est de 610,8 mm/an, le mois le plus pluvieux est celui de janvier avec une moyenne de 91,64 mm, l'humidité relative est assez élevée en raison de la proximité de la mer (57 % à 77 %).

Pour la période de l'expérimentation, les données climatiques, sont issues également de la station météorologique de l'I.N.A (tableau 17).

**Tableau XVII.** Précipitation mensuelle (mm), température moyenne mensuelle (°C) et humidité relative (%) de la période d'étude (Septembre 2003 et Juillet 2004).

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy mensuelle	Total/ an
<b>Tmoy</b> (°C)	20	21	16	13	12	12	14	14	16	21	25	29	17,8	
<b>P</b> (mm)	39	46	55	102	116	32	100	76	159	6	-	-		741
<b>HR</b> (%)	53	72,5	82	83,	81,5	80,6	73,2	65	65	52	47	40	66,2	

Le climat s'est avéré plus pluvieux (741 mm) que la moyenne annuelle calculée sur les 10 ans, il faut remarquer qu'exceptionnellement, le mois de mai a été le mois le plus pluvieux (159mm).

## 2.1.2 Etude du milieu

### 1.2.1 Pédoclimat

Les divers travaux effectués sur le tell algérois nous renvoient toujours aux résultats de Newhal (1972), ils classent le régime de température de la région comme étant de type thermique, alors que celui du régime hydrique est de type xérique.

### 1.2.2 Géomorphologie

La région d'El-Harrach est caractérisée par les mêmes données géomorphologiques et la même histoire géologique que celle de la Mitidja, elle se trouve sur un plateau dont la pente est généralement faible.

Le relief de la ferme expérimentale est plat, les pentes sont très faibles à la l'amont (1 % au niveau des parcelles expérimentales) avec une légère dénivellation de 1 à 5 % vers l'aval, cette pente s'accroît considérablement en s'approchant du talweg avoisinant l'I.N.A.

### 1.2.3 Géologie

D'après Mutin (1977), la Mitidja est une zone d'effondrement provoquée par une activité tectonique durant le miocène après lequel s'installe une longue période de sédimentation où se déposent les couches présentant des faciès de grès et de poudingues, de marne et d'argile. Depuis le pliocène, les marnes s'entassent sur des centaines de mètres, ainsi la Mitidja daterait de la fin du pliocène et du début du quaternaire.

## 2.2 Sol du site de l'expérimentation

Selon l'étude menée par Abib et Haddab (1995), la parcelle sur laquelle été menée l'expérimentation appartient à la classe des sols bruns fersiallitiques, lessivés, sans réserve calcique, hydromorphe (C.P.C.S, 1967). Dans la classification (U.S.D.A , 1994), c'est un sol typic haploxerolf, thermic, fine clayey.

Cette unité se caractérise par un relief plat et un drainage relativement bon, elle regroupe des sols situés dans la partie de la station horticole et s'étale sur une superficie de 0,693ha sur laquelle sont installées diverses cultures expérimentales.

### 2.2.1 Description du profil pédologique du site de l'expérimentation

#### 2.1.1 Description morphologique

- 0-45 cm** Sec, couleur 5YR 4/8 (reddish brown), limono-sableux, structure polyédrique, très poreux, très compact, présence de nodules calcaires et de graviers (1 %) ainsi qu'une couche calcaire dont l'épaisseur est de 3 cm,
- Ap** faible teneur en matière organique, racines nombreuses, la matrice ne fait pas effervescence à l'Hcl, limite nette et régulière.
- 45-75 cm** Sec, couleur 7,5YR 4/3 (brown), limono-argilo-sableux, structure polyédrique, très poreux, très compact, présence de 15 % de charge (gravier), teneur moyenne en matière organique, racines très nombreuses, chenaux rares, présence de concrétions noires, présence de charbon, faible effervescence à l'acide chlorhydrique. La limite est progressive et régulière.
- Abg**
- > 75 cm** Frais, couleur 10YR 5/6 (yellowish brown), limono-argileux, structure polyédrique, très poreux, compact, peu plastique, très faible charge (1 %), teneur faible en matière organique, chenaux peu nombreux, racines très nombreuses, présence de concrétions noires, très faible effervescence à l'Hcl.
- Btg**

#### 2.1.2 Processus pédogénétiques

L'horizon de surface est un remblai artificiel. La genèse de ces sols, est marquée par le lessivage des argiles qui abouti à la formation d'un Bt.

L'hydromorphie se manifeste par des concrétions grises et brillantes de fer et de manganèse dans les deux derniers horizons.

## Chapitre II : Matériel végétal

### 1. Caractéristiques de la semence

La semence utilisée est caractérisée par un poids de mille graines de 62,9 g et une faculté de germination de 86 %.

#### 1.1 Choix de la variété

La culture mise en place est le blé dur (Triticum durum), la variété « Siméto » a été introduite d'Italie puis sélectionnée en Algérie (Tiaret) en 1998 (Hazmoune *et al*, 2001).

#### 1.2 Caractéristiques de la variété «Siméto»

Les principales caractéristiques de cette variété sont présentées au tableau 18.

**Tableau XVIII.** Caractéristiques morphologiques, agronomiques, technologiques de la variété « Siméto » (I.T.G.C, 1998 et 1994).

Origine	Italie sélectionné par l'I.T.G.C. de Tiaret
Caractéristiques morphologiques	<ul style="list-style-type: none"><li>. Epi : faible coloré, à compacité moyenne</li><li>. Paille moyenne</li><li>Grain demi allongé, sa coloration au phénol est faible</li></ul>
Caractéristiques culturales	<ul style="list-style-type: none"><li>. Cycle végétatif précoce</li><li>. Tallage moyen</li></ul>
Caractéristiques à l'égard des maladies	<ul style="list-style-type: none"><li>. Sensible à la rouille brune et à la sécheresse</li><li>. Tolérante à la verse</li><li>. Résistance à l'oidium</li></ul>
Caractéristiques technologiques	<ul style="list-style-type: none"><li>. Qualité semoulière assez bonne</li><li>. Très bonne qualité des protéines</li></ul>
Productivité	<ul style="list-style-type: none"><li>. Bonne : (21qx/ha).</li></ul>
Conseils techniques et culturaux	<ul style="list-style-type: none"><li>. Variété demi-alternative à semer à partir de la deuxième décade du mois de novembre à celle de décembre</li><li>. Tolérante aux gelées tardives, et au déficit hydrique tardif.</li></ul>

### 1.3 Capacité germinative

Pour assurer un bon rendement et déterminer l'effet du travail du sol sur la germination des plantes, il est primordial de connaître le pouvoir germinatif des semences mises en terre. Pour ce faire, nous avons opté pour la méthode classique qui consiste à mettre 100 graines dans des boîtes de pétrie avec une température de 25° C pendant 7 jours. La faculté germinative de la semence retenue est de 86 %.

### 1.4 Date et dose de semis

Le semis a été réalisé le 06 décembre 2003 après le traitement mécanique : trois grains de blé dur ont été semés manuellement à une profondeur de semis de 2 à 3 cm, sur une distance de 20 cm, l'écartement entre lignes est de 30cm, la dose de semis est d'environ 150 kg/ha.

## 2. Itinéraire technique

Les outils aratoires utilisés pour les différents traitements sont :

- le chisel, pour le travail profond,
- le cultivateur à dent, pour le travail minimum, et
- la herse pour les deux techniques.

Tous les travaux de semis, fertilisation, entretien et récolte ont été réalisés manuellement.



**Photo 1.** Travail minimum (7-8 cm)



**Photo 2.** Travail profond (25 cm)



**Photo 3.** Semis direct (0 cm)

# Chapitre III : Méthodes d'analyses et mesures effectuées

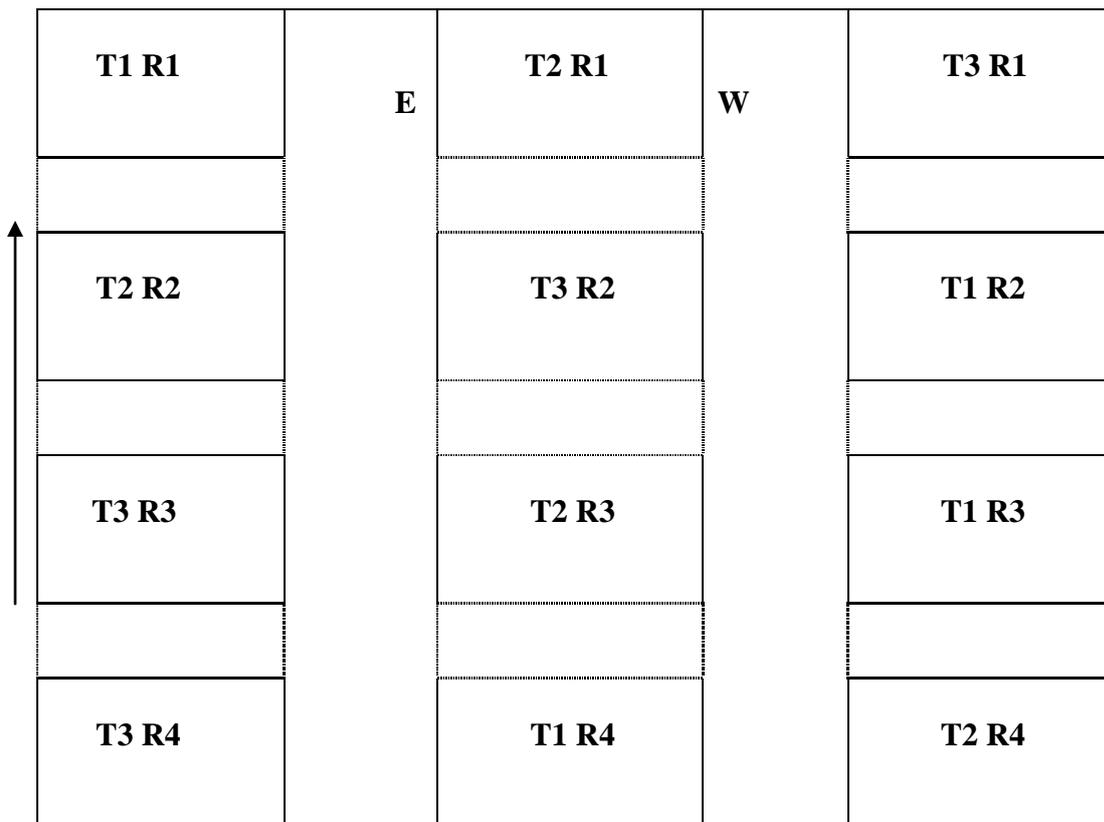
## 1. Méthodes d'analyses

### 1.1 Protocole expérimental

Trois modes de travail du sol sont appliqués sur les parcelles élémentaires : labour profond (25 cm), travail minimum (7 à 8 cm) et semis direct sans déchaumage. D'après les résultats obtenus dans d'autres pays, le blé dur démarre en général plus lentement en semis direct (réchauffement du sol plus lent), mais cela est sans conséquence sur le rendement.

Le dispositif expérimental est situé en plein champ, la parcelle couvre une superficie de 744 m<sup>2</sup> (31×24), partagée en 4 blocs comportant chacun trois traitements, la répartition des traitements a été faite de manière aléatoire (Dagnelie, 1975) afin de constituer un dispositif mené en blocs aléatoires complets. La parcelle élémentaire de 9 m de longueur et de 4 m de largeur avec un espace de 2 m entre blocs adjacents et de 1 m entre deux traitements (Figure 12).

Facteurs étudiés : trois traitements culturaux (labour, travail minimum, semis-direct).  
Nombre de blocs (Répétitions) : 4 soit au total 12 parcelles élémentaires



↑ Sens de la pente  
E-W : Sens de travail du sol

Figure 12. Schéma du dispositif expérimental en plein champ



**Photo 4.** Vue de quelques parcelles élémentaires

## 1.2 Date et nature des opérations culturales

Les dates et nature des opérations expérimentales sont résumées au tableau 19.

**Tableau XIX.** Date et nature des opérations culturales

Date	Nature des opérations
	Précédent cultural : Céréales : Blé, Orge, Luzerne
13-09-2003	Passage du chisel
20-10-2003	Réalisation d'un désherbage total de la parcelle (Roundup)
27-10-2003	Passage d'un cultivateur à dents rigides
27-11-2003	Réalisation du travail du sol : Le travail profond du sol a été réalisé par un chisel il est mieux adapté au sol et permet aux premières pluies d'automne de s'infiltrer. Le chisel à 6 dents permet un travail du sol à une profondeur de 15-25 cm. Le travail minimum du sol a été réalisé par un cultivateur à dents rigides à une profondeur de 7-8 cm, il est suivi d'une herse. Le semi direct a été réalisé manuellement
30-11-2003	Fumure du fond : TSP 46% 12 U/ha
06-12-2003	Réalisation du semis pour les trois traitements
06-01-2004	Installation des tensiomètres
10-01-2004	Fertilisation foliaire à base de l'urée : 100 kg/ha.
09-02-2004	Fertilisation foliaire à base d'Agriphos 2,5 l/ha
07-02-2004	Agriphos + phosamco 2,5L + 2,5 kg/ha Safe N 2,5 l/ha
03-02-2004	Désherbage chimique sélectif à base d'Apyros : 26,5g/ha au stade 3 et 8 feuilles.
10-02-2004	Un deuxième désherbage chimique sélectif : Calliofop + granotar 2,5 l/ha 20 g/ha (antigraminé) (antidicotylédone)
11-02-2004	Un traitement phytosanitaire à base du Fongicide Tilt : 0,5 L/ha -anti oïdium; -helminthsporise

### 1.3 Profils culturaux : morphologie, mesures et analyses selon la méthode mise au point par Manichon (1982)

Le profil cultural concerne principalement les composantes physique et biologique du sol tandis que l'analyse de terre porte sur le matériau la terre, principalement sa composante chimique, ces deux outils sont complémentaires (Gautronneau, 2005).

Outre les aspects texture, structure (comportant une analyse détaillée du mode d'assemblage des mottes et de leur état interne), matière organique et enracinement, le comptage des orifices (ouverts) de galeries de vers de terre au niveau du fond du labour s'avère un outil pertinent d'évaluation des qualités physiques et biologiques du sol (Gautronneau, 1998), les praticiens apprécient beaucoup cet indicateur qui est en relation étroite avec les techniques de travail du sol et de gestion des matières organiques.

Le profil cultural est un outil de diagnostic agronomique qui permet à partir de l'examen d'une couche de sol (1,5 m de profondeur et 3 à 4 m de long) de tirer des principes d'action pour la pratique agricole (Henin *et al* 1969). Cette démarche peut aussi avoir d'autres objectifs comme l'évaluation des potentialités agronomiques, ou servir de base à une expertise agronomique des pratiques agricoles. (Gautronneau et Manichon, 1987).

L'originalité principale de cette méthode plus récente de l'étude du profil cultural consiste en une double partition (Manichon 1982) :

**partition verticale**, on distingue :

a) les horizons anthropiques **H** : liés aux actions des outils.

**Tableau XX.** Horizons anthropiques selon les opérations culturales réalisées (Gautronneau et Manichon, 1987)

	Ho	Surface du sol
<b>Ap</b>	H1 à H4	Horizon de reprise du « Labour »
	H5	Horizon « labouré » non repris
	H6 à H7	Base d'horizons « Labourés » anciens
	H8	Sous le fond du « labour » le plus ancien horizon partiellement ameubli par des outils profonds de type soussoleuse

L'ensemble des horizons anthropiques de H1 à H7 sont généralement de même couleur, à une humidité donnée, et de même texture. Le nombre d'horizons anthropiques, dans un profil donné, dépend des opérations culturales réalisées, de leurs profondeurs respectives d'action, de leur chronologie.

**b) les horizons pédologiques P :**

Leur différenciation ne procède pas d'un ameublissement par les outils ; la texture est alors un facteur de distinction majeur entre horizons.

**2. partition horizontale**, résultant d'une partition latérale **L** liée aux actions culturelles.

Trois types de positions latérales peuvent être définis, ils correspondent à des étapes différentes des interventions culturelles.

**Tableau XXI.** Types de positions latérales (Goutronneau et Manichon, 1987)

<b>L1</b>	emplacements affectés par les roues d'engins, après les derniers travaux d'ameublissement superficiel. Leurs traces sont visibles en surface au moment de l'observation.
<b>L2</b>	endroits où ont circulé les roues d'engins utilisés entre le labour et la dernière façon d'ameublissement.
<b>L3</b>	résidu indemne des actions précédentes.

Les strates ainsi définies font l'objet d'une description méthodique :

- état structurelle du sol : état interne des mottes et modes d'assemblage de ces mottes avec la terre fine, état hydrique du sol, répartition du système racinaire (enracinement), localisation et évolution des matières organiques, présence de vers de terre, de galeries,....etc.

**Méthode de réalisation d'un profil culturel**

Après avoir choisi une zone représentative de la parcelle, il faut d'abord définir les dimensions et l'orientation de la fosse et choisir la face d'observation pour la préserver de tout compactage ou piétinement pendant le creusement. La fosse doit être perpendiculaire au sens de travail du sol et suffisamment grande et profonde pour permettre une bonne prise en compte de la variabilité spatiale. Dans un premier temps, on va chercher à repérer les partitions verticales et latérales, indispensables pour une compréhension de l'origine des différents états structuraux et une interprétation correcte du profil. Pour ce qui concerne la structure, on décrira ensuite chaque strate en caractérisant successivement :

**Les Trois niveaux d'organisation structurelle dans les horizons anthropiques :**

Les constituants de la structure sont les mottes, éléments structuraux formés par les actions de fragmentation et de comptage des outils. Le premier niveau de description concerne leur état interne, les deux autres, leur assemblage.

## 1<sup>er</sup> niveau : l'état interne des mottes

Tableau XXII. Etat interne des mottes (Manichon, 1982)

Etat interne	Principales caractéristiques
$\Delta$ delta	Aspect continu. Les faces de fragmentations sont peu rugueuses, de forme typiquement conchoïdale. Porosité structurale nulle. Résulte d'un compactage sévère d'origine anthropique (roues de tracteur) cohésion élevée en sec.
$\Phi$ phi	Proche de $\Delta$ , mais contient des amorces de fissures, révèlent lors des essais de fragmentation (cas des matériaux ayant une certaine aptitude à la fissuration). Résulte typiquement, par exemple, de l'action du gel.
$\Gamma$ gamma	Les agrégats, dont la morphologie est variable (en relation avec la texture et les agents naturels), sont discernables dans les mottes. Rugosité assez importante des faces de fragmentation des mottes. Porosité structurale non nulle assez variable. Cohésion plus faible que pour $\Delta$

**Remarque :** s'il n'y a pas de mottes, mais uniquement de terre fine on note tf

## 2<sup>ème</sup> niveau : mode d'assemblage des mottes

Si dans une « unité morphologique » n'existe qu'une seule motte, on parle d'état massif (M) ; si au contraire plusieurs mottes sont associées, on note leur degré de liaison et, lorsque c'est possible (état F et SF seulement), leur calibre et le rapport d'abondance mottes/ terre fine.

Dans une gamme donnée de calibre des mottes et d'intensité d'affinement, la porosité structurale entre mottes décroît de F à SF et SD (elle est par définition nulle en M).

**Tableau XXIII.** Modes d'assemblage des mottes (Manichon, 1982)

Un élément structural	Plusieurs éléments structuraux		
↓ Structure continue ↓ <b>M</b> <b>Massif</b>	↙ ↘ <b>Soudés</b> <b>entre eux</b>		↘ Individualisés ↓ <b>F</b> Fragmentaire
	<b>D</b> ifficilement discernables  1 <b>SD</b> Soudés Difficilement discernables	<b>F</b> acilement Discernable  1 <b>SF</b> Soudés Facilement discernables	

**3<sup>ème</sup> niveau : regroupement des modes d'assemblage (états types o, b, c).**

Leur définition figure au tableau suivant :

**Tableau XXIV.** Définition des états types o, b, c et interprétation de leur origine. (Manichon, 1982)

Etat type	Définition et origine
<b>o</b>	Dominance de modes Fet SF sans mottes décimétriques, ni cavités importantes. Terre fine abondante. Typiquement : bande « labour » <b>fortement émietté.</b>
<b>b</b>	Dominance de <b>M</b> et <b>FV</b> mottes décimétrique, séparées par des cavités structurales importantes. Peu de terre fine. Typiquement : <b>bande de « labour » peu fragmentés (grosses mottes)</b>
<b>c</b>	Pas de discontinuités structurales notables, dominance de <b>M</b> et <b>SD</b> Typiquement : <b>effet de compactage post »labour » sur terre fortement émietté</b>

On pourra retenir :

<b>o</b>	Comme <b>ouvert</b> ou encore <b>zéro compactage</b>
<b>b</b>	Comme <b>bloc</b>
<b>c</b>	Comme <b>continu</b>

Ce regroupement peut être pratiqué pour des horizons ayant subi un ameublissement suivi par des compactages locaux ou généralisés et comportant une certaine épaisseur. C'est typiquement le cas de l'horizon H5.

Dans les horizons de faible épaisseur (lit de semence,..) seules les modalités **o** et **c** pourrait être utilisées. Sauf cas particuliers, la description ainsi obtenue est succincte pour être d'un réel intérêt.

## 2 Mesures effectuées

### 2.1 Sur le sol

#### 2.1.1 Densité apparente des agrégats centimétriques.

Elle exprime l'état de compaction du sol à un moment donné et se calcul par le rapport des masses volumiques du sol sec et de l'eau.

#### 2.1.2 Porosité totale

La porosité caractérisant le sol a été calculée à partir des densités apparentes et réelle. La densité apparente est mesurée sur des agrégats centimétriques dans des conditions d'humidité proche de la capacité de rétention en eau.

#### 2.1.3 Stabilité structurale est évaluée par la méthode Henin (1956)

**Is** : varie globalement entre 0,1 et 100 correspondant à des stabilités structurales respectivement très élevés à très faible, elle est souvent exprimée par  $\log_{10} I_s$  (1 à 3).

#### 2.1.4 Humidité du sol à différents potentiels matriciels

L'application de contraintes sur le sol par l'utilisation de l'appareil de Richards (1954), permet la détermination des courbes caractéristiques d'humidité. Chaque point de pression représente un potentiel de l'eau dans le sol.

**Tableau XXV.** Fonctionnement hydrique et potentiel matriciel (sol limono-argileux)

Potentiel matriciel (cm d'eau)	pF	Signification agronomique
0	pF 0	Saturation
40	pF 1,6	Drainage rapide
80	pF 1,9	Drainage lent
330	pF 2,5	Bonne diffusion de l'eau
510	pF 2,7	Humidité à la capacité de rétention
1000	pF 3	Rupture des liens capillaires
3500	pF 3,5	Humidité au point de flétrissement temporaire
16000	pF 4,2	Humidité au point de flétrissement permanent

Ces points ont été retenus afin de déterminer les différentes classes des catégories de pores pour chaque traitement, par ailleurs ces données permettront de calculer les réserves en eau du sol.

**Tableau XXVI.** Méthodes d'analyses chimiques et biologiques

<b>Analyses chimiques</b>	<b>Méthodes</b>
-Carbone organique -Calcaire total -pH -Conductivité électrique (CE) -Bases échangeables (Ca <sup>++</sup> , Mg <sup>++</sup> , K <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> ) -Capacité d'échange cationique (CEC) -Azote total -Azote assimilable -Phosphore assimilable	-Méthode Anne -Calcimètre de Bernard (HCl 6N) -Méthode électrométrique (1/2,5) -Conductivimétrie (1/5) -Extraction à l'acétate d'ammonium à pH 7 et dosage par photomètre à flamme -Extraction à l'acétate d'ammonium et lavage à l'éthanol, saturation au KCl et distillation -Méthode Kjeldahl -Extraction du KCl et distillation -Extraction selon la méthode Olsen et dosage colorimétrique

**Tableau XXVII.** Méthodes de mesures et d'analyses physiques

<b>Mesures physiques</b>	<b>Méthodes</b>
-Densité réelle -Densité apparente  -Analyse granulométrique -Capacité de rétention en eau -Porosité et sa distribution  Mesure de l'humidité Profils hydriques	-Méthode au pycnomètre à eau -Méthode au pétrole  -Méthode International à la pipette de Robinson -Presse à plaques (appareil de Richards) -Emploi de la densité apparente et densité réelle et application de la loi de Jurin Thermogravimétrie Prélèvements d'échantillons à la tarière.

## 2.2 Sur le végétal

### 2.2.1 Suivi des stades phénologiques.

Le suivi a commencé dès le semis, les résultats sont portés au tableau 28.

**Tableau XXVIII.** Suivi des différents stades phénologiques.

Stades phénologiques	Date d'observation des stades	JAS
semis	06-12-2003	0
Levée (après 12 jours)	18-12-2003	12
Stade 3 feuilles	27-12-2003	21
Stade 6 feuilles (début tallage)	13-01-2004	38
Plein tallage	29-01-2004	54
Début montaison	07-02-2004	63
Montaison	16-02-2004	72
Début épiaison	25-03-2004	110
Stade épiaison	27-03-2004	112
Floraison	04-04-2004	119
Grain laiteux	16-04-2004	127
Grain pâteux	23-04-2004	134
Maturation	17-05-2004	158
Récolte	23-06-2004	195

Nous constatons à partir de ce tableau, que le cycle de la culture a duré 158 jours. La première feuille est apparue 12 jours après semis, le stade floraison a duré environ 8 jours et la récolte a eu lieu quand l'humidité des grains pour tous les traitements a atteint les 3 % environ.

### 2.2.2 Mesures morphologiques.

- **Hauteur des plants** : un prélèvement de dix plants (moyenne de dix échantillons) par parcelle élémentaire a été effectué après la récolte, on considère la hauteur du plant comme étant la longueur depuis le collet jusqu'à la base de l'épi.
- **Longueur de l'épi** : un prélèvement de dix plants (moyenne de dix échantillons) par parcelle élémentaire a été effectué après la récolte, la longueur de l'épi est mesurée depuis sa base jusqu'à son extrémité supérieure sans compter la hauteur de la barbe.

### 2.2.3 Mesures des composantes du rendement.

- **Tallage herbacé** : le nombre de plants par mètre carré a été déterminé sur les mètres linéaires à raison de dix comptages par parcelle élémentaire lors de la récolte manuelle (moyenne de dix échantillons).
- **Peuplement de l'épi** : dix comptages par parcelle élémentaire ont été réalisés pour le nombre d'épis au mètre carré.
- **Longueur de la barbe** : dix comptages par parcelle élémentaire (moyenne de 10 échantillons) ont été réalisés.
- **Nombre d'épillets stériles** : un comptage du nombre d'épillets total, fertiles et stériles par épi réalisé sur 100 épis par parcelle élémentaire (moyenne de 10 échantillons) afin d'apprécier la fertilité de l'épi.
- **Nombre de grain/épi** : sur les 100 épis utilisés précédemment, il a été effectué un comptage de grains par épis.
- **Poids de l'épi** : chaque épi est pesé.  
**Poids de mille grains** : un lot d'épis provenant de parcelles élémentaires de chaque traitement a été prélevé au hasard puis pesé.
- **Poids de matière sèche** : tous les plants prélevés lors de la récolte linéaire de chaque parcelle sont pesés après séchage au soleil de quelques jours.
- **Humidité de grain (%)** : 100 grains ont été pesés puis séchés à 60 °C.

- **Rendement en grains** : pour estimer donc le rendement en grains sur les différentes parcelles élémentaires, nous avons choisi deux caractéristiques mesurables qui sont décrits dans la relation établie par Soltner (1990).

$$\mathbf{Rdt = NG/m^2 \times PMG/m^2}$$

**Rdt** : le rendement en grain estimé à l'hectare qx/ha  
NG/m<sup>2</sup> : nombre de grains au mètre carré  
PMG/m<sup>2</sup> : le poids de mille grains au mètre carré (g)

A travers laquelle nous évaluons le rendement en grains pour chaque parcelle avec :

$$\mathbf{Rdt (T/ha) = Rdt (g/m^2)/100}$$

$$\mathbf{Rdt (g/m^2) = (nombre\ d'\acute{e}pi/m^2) \times (nombre\ de\ grain/\acute{e}pi) \times poids\ de\ grain\ (g)}$$

## **PARTIE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS**

### **Chapitre I : Partie sol**

#### **1. Les profils cultureux des trois traitements**

L'étude des profils cultureux a permis d'identifier différents horizons cultureux par leurs couleurs, leurs structures et d'une façon générale par leurs propriétés physiques selon le traitement appliqué, les observations et les mesures sur le terrain ont été réalisées en fin de cycle de la culture du blé.

L'association du diagnostic visuel à l'issue de l'étude du profil cultural et des résultats de mesures et d'analyses de laboratoire constitue la meilleure approche pour connaître le fonctionnement d'un sol.

Les caractères morphologiques et structuraux du sol montrent des différences importantes entre les profils observés dans les trois traitements et permettent en outre d'apprécier les rapports entre les caractères de différenciation du profil cultural et le développement racinaire.

#### **1.1 Descriptions des profils cultureux des trois traitements**

Le nombre d'horizons anthropiques, dans un profil donné, dépend des opérations culturales réalisées, de leurs profondeurs respectives d'action et de leur chronologie Manichon (1982).

Trois profils cultureux de dimension moyenne (120 \*80\*80 cm) ont été ouverts après la récolte, leur orientation est perpendiculaires au sens du travail du sol.

Il s'agit d'une part de déterminer les différences entre les différents traitements cultureux (T1, T2, T3) et d'autre part, de déterminer les différences de comportement physique et hydrique du sol qui en résultent.

**Profil Cultural du Traitement T1 (semi direct)**



**Photo 5.** Différents horizons du profil du traitement T1

La photo5 montre la différenciation des horizons anthropiques dans le profil du traitement T1, les traits morphologiques majeurs observés sont :

- **horizon superficiel H0** riche en résidus racinaires non décomposés dont l'épaisseur est égale à 1 cm environ, l'ensemble des agrégats sont de type r.



**Photo 6.** Détail de H0

- horizon H5 d'épaisseur 5,5 cm environ, de structure polyédrique subanguleuse, limites nettes, frais, très friable, pas de trace d'hydromorphie, macroporosité tubulaire dominante horizontale, une forte porosité (80 % d'agrégats sont de type  $\gamma$  et 20 % de type  $\Phi$ ), le mode d'assemblage des motte est SF, une forte activité biologique, M.O en décomposition, des racines nombreuses et verticales, présence de lombrics. L'horizon a un mode d'assemblage type « b » peu fragmenté.



**Photo 7.** Horizons 0 et 5



**Photo 8.** Détail de H5



**Photo 9.** Agrégat de type  $\Phi$



**Photo 10.** Agrégat de type  $\gamma$



**Photo 11.** Agrégat de type  $\Delta$

- **horizon H6 compris entre 5,5 et 12 cm**, de structure polyédrique anguleuse, limite nette, humide, friable, pas de trace d'hydromorphie, porosité moyenne tubulaire (100% d'agrégats sont de type  $\Phi$ ), le mode d'assemblage des mottes est SF, une faible activité biologique, M.O peu abondante en état de décomposition, présence de racines. L'horizon a un mode d'assemblage type « b » peu fragmenté.



**Photo 12.** Horizons 6 et 7



**Photo 13.** Détail de H6

- **horizon H7 compris entre 12 et 18 cm**, de structure massive, pas de traces d'hydromorphie, porosité faible à nulle (100% d'agrégats sont de type  $\Delta$ ) le mode d'assemblage des mottes est SD, cohérent, une faible activité biologique, absence de M.O, peu de racines, présence de cailloux calcaires. L'horizon a un mode d'assemblage type « c »



**Photo 14.** Détail de H7

## Profil Cultural du traitement T2 (travail profond)



**Photo 15.** Aspect de surface



**Photo 16.** Différents horizons du profil

### Description du profil

**H0 0 – 1 cm** : Lit de semence, structure fondue, de type  $\Phi$ .

**H1 1 – 2,5 cm** : Structure polyédrique subanguleuse à grumeleuse, limite nette, frais, très friable, pas de traces d'hydromorphie, très poreux (100% d'agrégats sont de type  $\Gamma$ ), macroporosité tubulaire dominante, le mode d'assemblage des motte est FD, activité biologique moyenne, M.O en décomposition, présence de racines, de lombrics et de mésofaune. L'horizon a un mode d'assemblage de type « o » peu fragmenté émiété.

**2,5 – 18,5 cm** : Structure massive, friable, pas de traces d'hydromorphie, porosité moyenne,

**H2 à H5** (20% d'agrégats sont de type  $\Phi$  et 80% sont de type  $\Delta$ ), le mode d'assemblage des mottes est SD, activité biologique très faible, peu de M.O, présence de lombrics et de mésofaune. L'horizon a un mode d'assemblage de type « c ».

**18,5 – 27,5 cm** : Structure massive, peu cohérent, humide, pas de traces d'hydromorphie, très

**H6 à H7** peu poreux (100% d'agrégats sont de type  $\Delta$ ), le mode d'assemblage des mottes est SD, pas d'activité biologique, peu de M.O à nulle, peu de racines, l'horizon a un mode d'assemblage type « c ».

## Profil Cultural du traitement T3 (travail minimum)

### Description du profil cultural

0 – 1 cm H0 Lit de semence, structure polyédrique subanguleuse de type  $\Phi$ .

1 - 4 cm : Structure polyédrique subanguleuse, limite nette, frais, friable,

H1 à H4 pas de traces d'hydromorphie, très poreux (100% d'agrégats sont de type  $\Gamma$ ) forte macroporosité, le mode d'assemblage des mottes est F, forte activité biologique, M.O en décomposition, présence de racines, de lombrics et de mésofaune. L'horizon a un mode d'assemblage de type « o » émiété

4 - 16 cm : Structure massive, faiblement cohérent, humide, pas de traces d'hydromorphie,

H5 très peu poreux (100% d'agrégats sont de type  $\Delta$ ), mode d'assemblage des mottes est massif, faible activité biologique, peu de M.O, peu de racine, L'horizon à un mode d'assemblage type « c ».

H6 – H7 : Base d'horizons « Labourés » anciens c'est la limite de l'horizon Ap,



**Photo 17.** Structure de surface dégradée



**Photo 18.** Profil cultural

Discussion (principales différenciations entre profils)

H1 à H4 sont absents dans le semi direct.

La différenciation des profils cultureux des trois traitements cultureux sous l'effet des trois techniques différentes se traduit par la présence ou l'absence d'un ou plusieurs horizons cultureux

**La partition verticale montre que :**

Pour le profil 1: Le semi direct présente quatre horizons cultureux différents : H0, H5, H6, H7.

Pour le profil 2: le travail profond a généré l'apparition de H0, H1, H2 à H5 et H6 à H7.

Pour le profil 3 : le travail minimum a provoqué l'apparition de trois horizons cultureux différents. Le H0, H5 sont identiques à ceux du semi direct et du travail profond. Le H1 à H4 n'est pas présent dans les deux autres traitements.

**La partition latérale montre que :**

Pour le semi direct T1 et le travail minimum T3, La partition latérale est de type L3 qui indique la présence des résidus indemnes des actions précédentes.

Pour le travail profond T2 La partition latérale est de type L3 entre les deux roues du tracteur et de type L2 (endroits où ont circulé les roues d'engins utilisés entre le labour et la dernière façon d'ameublissement).

La photo 19 montre que le lieu de passage de la dent du chisel a donné un sol très poreux et très humide à faible densité apparente.



**Photo 19.** Lieu du passage de la dent du chisel

## 2 Principales caractéristiques et propriétés du sol

L'horizon de surface des parcelles de l'expérimentation a fait l'objet d'analyses de caractérisation (tableau 31).

**Tableau XXX** .Caractérisation analytique du sol de l'expérimentation

Caractéristiques du sol	Résultats analytiques	
Profondeur (cm)	0-30	
pH eau	8,13	
pH Kcl	8,00	
CE (ds /cm)	0,11	
Calcaire total (%)	4,6	
Granulométrie (%)	A	31,7
	LF	8,9
	LG	13,4
	SF	13,15
	SG	33,4
	Classe Texturale (USDA)	Limonos-argilo-sableux
Caractéristiques biochimiques	CO (%)	1,43
	MO (%)	2,45
	N (%)	0,19
	C/N	7,5
Complexe adsorbant (C moles/kg de terre)	Ca <sup>2+</sup>	11,45
	Mg <sup>2+</sup>	3,5
	Na (%)	0,67
	K <sup>+</sup>	0,83
	T	21
	S	16,45
	S/T (%)	78,3
Potassium assimilable (C moles/kg de terre)	2,83	
Azote assimilable (mg/kg)	10,96	
Phosphore assimilable (mg/kg)	17,46	

Les résultats montrent que le sol est de texture limono- argilo -sableuse, la teneur en argile (31.7%) associée à un taux relativement élevé de matière organique (2.45%) expliquent le niveau correct de la CEC (21 C moles/ kg de terre). Cependant les limons et les sables sont bien représentés ; ils sont responsables de la l'instabilité structurale de ces sols (croûte de battance apparente sur tous les traitements).

Le profil pédologique de ce sol a été par ailleurs été analysé lors de l'établissement de la carte des sols de la ferme de l'Institut national agronomique. Ce sol est profond, il est constitué de trois horizons. A partir du deuxième horizon, des signes d'hydromorphie apparaissent, car un Btg épais freine le drainage des eaux. Cependant, la comparaison des résultats des deux tableaux d'analyses montrent de grandes différences notamment entre les taux de matière organique et d'argile.

**Tableau XXXI.** Résultats analytiques d'un profil de l'unité d'expérimentation  
(Abib et Haddab, 1995)

Echantillon		1	2	3	
Profondeur (cm)		0-45	45-75	>75	
Symbole		Ap	Abg	Btg	
Calcaire total (%)		2,4	2,4	0,08	
CE (millimhas/cm)		0,17	0,18	0,30	
pH eau		8,43	8,15	7,94	
Caractères biochimiques	%	CO	0,48	0,48	0,24
		MO	0,83	0,83	0,41
		N	0,21	0,21	0,21
	C/N				
	ppm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	45,24	90,48	33,33
		A	11,25	21,95	38,85
		LF	17,15	18,8	22,15
		LG	5,9	7	4,3
		SF	17,15	15,83	12,61
		SG	44,89	29,12	19,12
	<b>C.T</b>		<b>L.S</b>	<b>L.A.S</b>	<b>L.A</b>
Da (g/cm <sup>3</sup> )		1,69	1,79	1,63	
Complexe adsorbant	meq/ 100g de terre	Ca <sup>++</sup> + Mg	5,73	9,07	21,5
		K <sup>+</sup>	1,79	1,15	0,76
		Na <sup>+</sup>	3,48	2,78	1,74
		S	11	13	24
		T	11	13	24
	V%		100	100	100

**L.S** : Limono-Sableux

**L.A.S** : Limono-Argilo-Sableux

**L.A** : Limono-Argileux

**C.T** : Classe texturale

Les résultats présentés ci-dessous portent sur l'influence des techniques de travail du sol (Labour, travail minimum et semis direct) et l'évolution des propriétés physiques d'un sol limono-argileux notamment sa porosité totale et ses différentes composantes afin de localiser les niveaux d'organisation de l'espace poral susceptibles d'être modifiés.

### 3 Effets des trois traitements cultureux sur les propriétés physiques du sol

#### 3.1 Densité apparente des agrégats centimétriques

C'est au niveau de la densité apparente que les différences entre les modes de gestion du sol sont les plus visibles. Les résultats obtenus sur les quatre horizons du traitement T1 (Figure 13) permettent de constater que la densité apparente des agrégats centimétriques est faible en H0. On peut supposer que c'est le cumul de matière organique et autres remaniements causés par l'activité biologique des racines et une meilleure structuration du sol, qui créent de la macroporosité.

L'augmentation de la densité apparente dans le H5 peut s'expliquer par la réduction du nombre et de la taille des pores surtout les plus grands, c'est-à-dire une diminution des vides sous l'effet du tassement naturel du sol provoqué par les couches supérieures. Il est mal aéré avec une activité biologique réduite. Les pratiques culturales comme le semis direct réduisent la porosité totale (Pagliai *et al.* 1983).

La diminution de la densité apparente dans les horizons anthropiques H6 et H7 est due à une forte concentration des racines des mauvaises herbes qui en se dégradant laissent des pores tubulaires. Les résultats ont été obtenus par Franzen *et al.* (1993) et par Mc Garry *et al.* (2000) montrent que la densité apparente s'améliore de manière significative avec le semis direct sous l'effet de l'activité biologique.

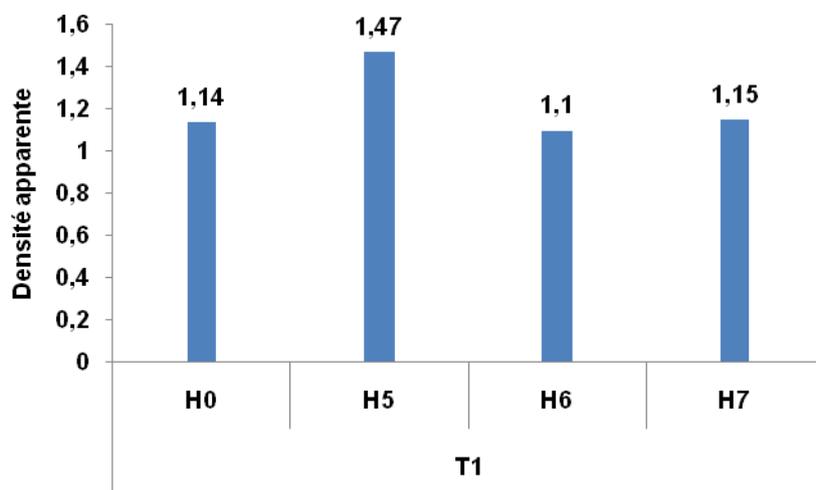
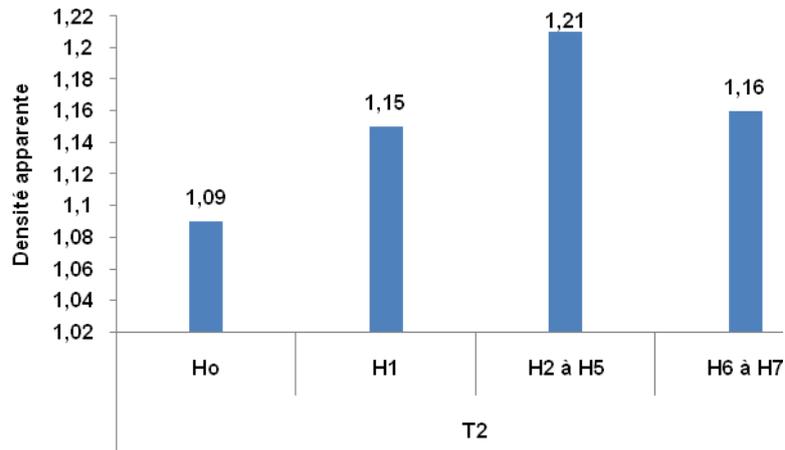


Figure 13 . Densité apparente des agrégats centimétrique de traitement T1

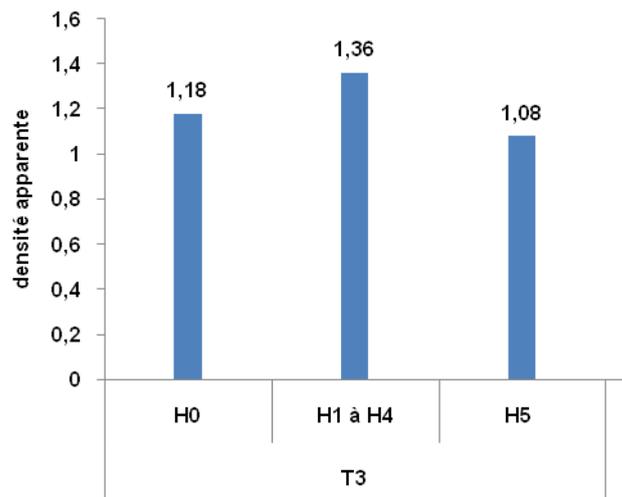
La figure 14 montre que la densité apparente des horizons du T2 est plus faible que celle du T1 particulièrement pour les horizons de surface.

On peut constater que le travail profond du sol (25 cm) améliore la structure de sol par la diminution de la densité apparente et l'augmentation de la porosité. L'amélioration de la porosité du sol se traduit par une plus grande rétention de l'eau dans les horizons explorés par les racines. L'analyse de la variance a montré que les différences entre horizons est non significative au seuil de 5% avec un  $p=0,13$ .



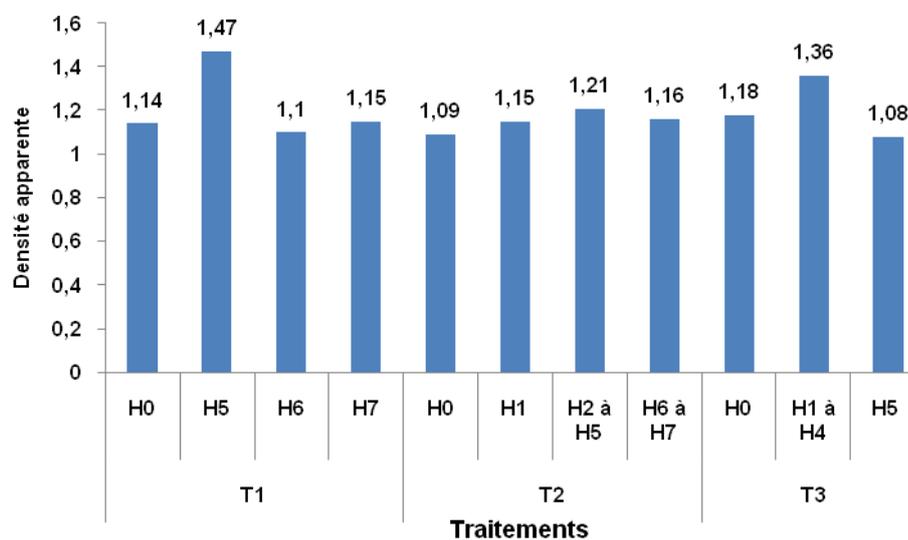
**Figure 14 . Densité apparente des agrégats centimétrique de traitement T2**

Les résultats présentés à la figure 15 permettent de constater que la densité apparente du traitement T3 (travail minimum 7-8 cm) est plus faible dans l'horizon de surface H0 (1 cm) en raison d'une forte porosité de type macropores.



**Figure 15. Densité apparente des agrégats centimétriques de traitement T3**

Elle est plus élevée dans l'horizon H1 à H4 (3 cm) du même traitement cultural indiquant la présence d'un horizon plus compact. Cependant, à la profondeur de 12 cm (H5), elle se réduit fortement en raison d'une importante colonisation racinaire des mauvaises herbes. Soumis à une analyse statistique (ANOVA à 5%) les différences se sont avérées non significatives avec un  $p=0,44$ .



**Figure 16 . Densité apparente des agrégats centimétriques des trois traitements**

La comparaison des différentes valeurs de la densité apparente montre que globalement les sols sont peu tassés car le niveau le plus élevé est de seulement 1.47 alors que les sols limono-argileux sont réputés être compacts. Ces résultats semblent être sous estimés en raison certainement de la méthode employée (au pétrole). Par ailleurs, nous observons au niveau soit du deuxième soit au troisième horizon (H4 ou H5), une remontée de ce paramètre, il peut être expliqué par l'action de lissage des instruments du travail du sol, c'est un horizon moins favorable au plan physique et hydrique. La densité apparente est légèrement inférieure après le travail profond par rapport aux autres traitements mais cette différence n'est pas statistiquement significative. La comparaison des horizons H0 et H5 des trois traitements par une analyse de variance au seuil de 5 % a montré que les différences sont non significatives.

### 3.2 Porosité totale

La densité apparente évolue en rapport avec la porosité totale du sol, ces deux paramètres varient en sens inverse.

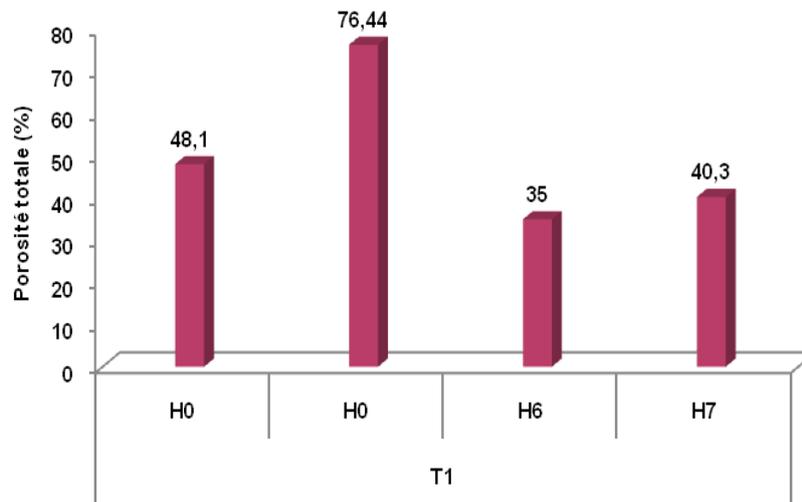


Figure 17 . Porosité totale du traitement T1

La Figure 17 montre que l'horizon de surface H0 du traitement semis direct (T1) présente un taux de porosité totale de 48,1 %, l'écart entre les horizons de surface du semis direct et du travail minimum (48.7 %) est négligeable.

Dans le T1, il y a une forte augmentation de la porosité totale dans l'horizon H5 (76.44 %), cette valeur peut être expliquée par la présence de macroporosité tubulaire car 80 % d'agrégats sont de type  $\tau$ , une forte activité biologique, des racines nombreuses et verticales, après il y a une diminution de la porosité totale sur tout le profil par rapport à l'horizon de surface H0 et l'horizon H5, mais elle est suffisante notamment pour la rétention en eau grâce à sa microporosité. En comparaison aux deux autres techniques, les différences de porosité totale entre horizons sont élevées.

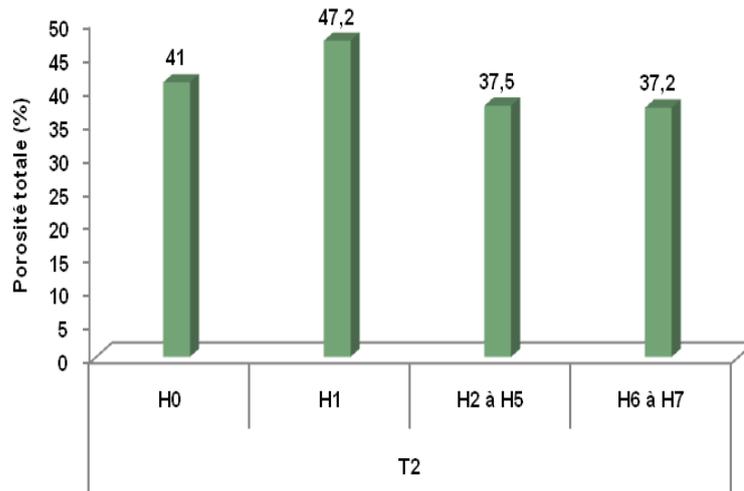


Figure 18 . Porosité totale du traitement T2

L'horizon de surface est moins poreux que celui du semis direct et le travail minimum (figure 18). Cette réduction résulte de la destruction des vides de grandes dimensions (fentes de retrait, galeries de verres de terre....) naturellement présents en non travail du sol surtout lorsque le sol est peu humide.

Ainsi, le travail du sol, dans certaines situations provoque l'homogénéisation du sol, parfois, son émiettement, ce qui a pour conséquence, la réduction de la porosité totale.

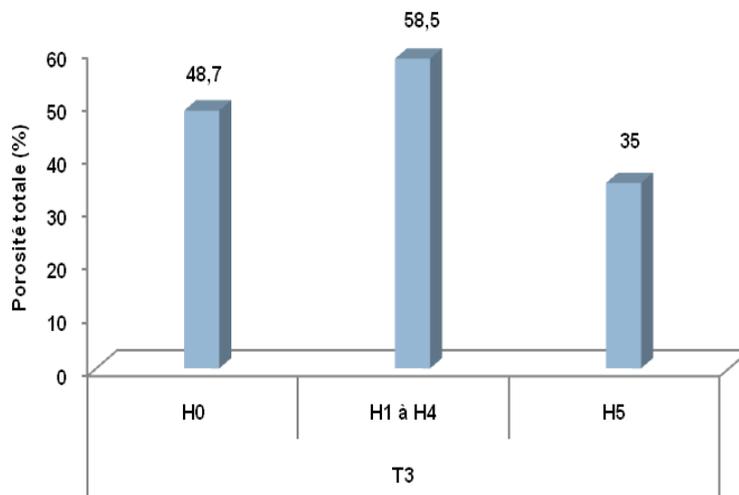


Figure 19 . Porosité totale du traitement T3

Peu de différences entre les horizons de surface des deux traitements T1 et T3 (48.1 % et 48,7 %). Pour le H1 à H4 (58,5 %) du travail minimum, il est plus élevé de 10 % par rapport à H0. Ces taux de porosité sont indicatifs de l'état du sol à un moment donné, leur impact sur le fonctionnement du sol et le développement de la culture nécessite une connaissance détaillée de sa distribution. La rétention en eau, la résistance mécanique à la croissance racinaire ou d'autres propriétés du sol dépendront de l'équilibre entre différentes catégories du sol au moment de la mesure car elles évoluent en fonction du temps.

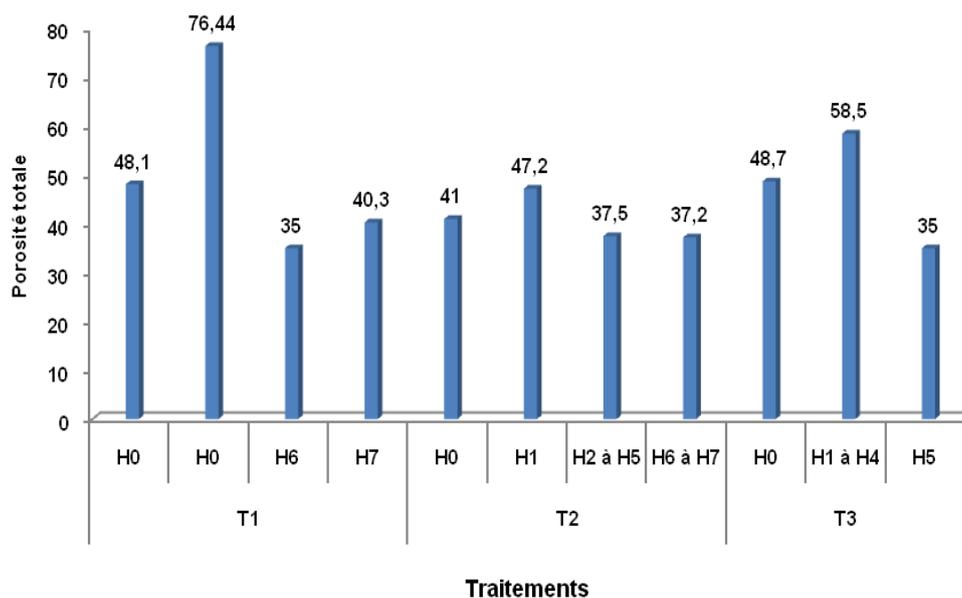


Figure 20 . Porosité totale des trois traitements

Globalement et quel que soit le traitement appliqué, la porosité totale est élevée par rapport aux exigences des cultures.

### 3.3 Rétention de l'eau dans le sol

#### 3.3.1 Capacité en eau

Les mesures des teneurs en eau des trois traitements à différent pF ont été effectuées sur des agrégats centimétriques, les résultats représentent la moyenne des prélèvements pour chaque horizon des trois profils étudiés.

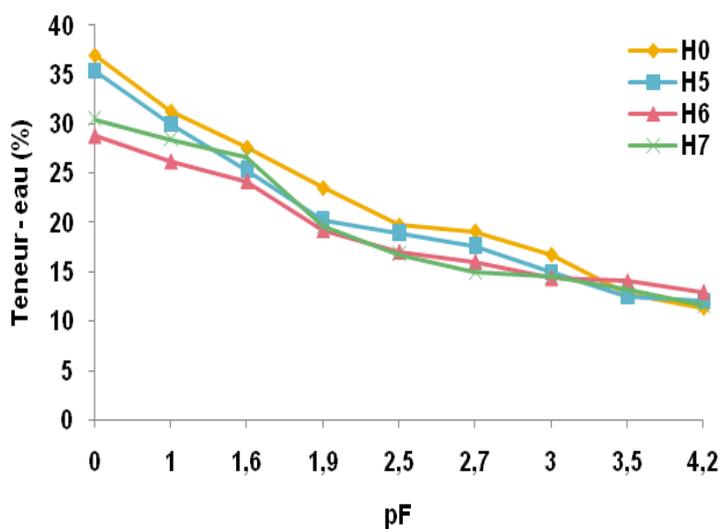
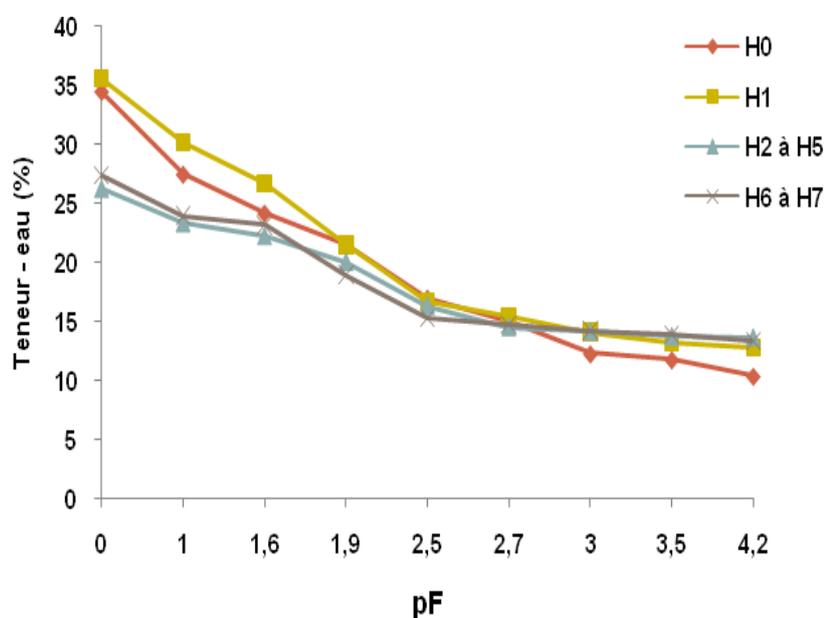


Figure 21 . Courbes de rétention en eau de traitement T1

La figure 21 représente le semis direct, la pente des courbes est assez régulière, et traduit un étagement régulier de la porosité, elle reflète un sol non perturbé. A saturation, les horizons H0 et H5 bénéficient d'une capacité en eau plus élevée. Ces différences s'expliquent par la présence d'une teneur élevée en matière organique brute. Les écarts sont relativement élevés aux hauts potentiels, ils se réduisent au fur et à mesure que la contrainte augmente pour devenir insignifiants aux bas potentiels (pF4.2).

Le travail profond montre également plus de rétention en eau dans les horizons de surface ; en comparaison avec le semis direct, les différences sont faibles à saturation. Aux bas potentiels, c'est l'horizon H0 qui retient le moins d'eau, sa structure constituée partiellement de macroporosité explique ce comportement. Deux pentes peuvent être observée, la première comprise entre pF0 et pF2.5 traduit la présence de pores qui se vidangent rapidement, ils résultent probablement des effets du travail du sol. La deuxième est un replat qui indique une microporosité relativement homogène.



**Figure 22 . Courbes de rétention en eau du traitement T2**

En raison de sa forte microporosité et l'absence d'une structure à cette profondeur, l'horizon H5 du T3 a une forte rétention en eau aux contraintes élevées alors que les teneurs en eau des deux autres horizons se confondent plus ou moins car leurs textures et structures se ressemblent.

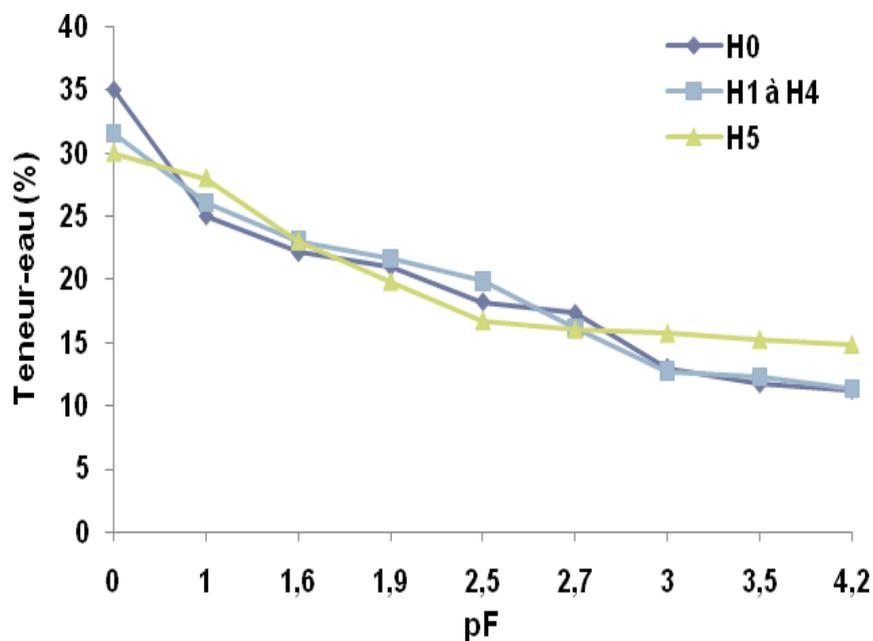


Figure 23. Courbes de rétention en eau du traitement T3

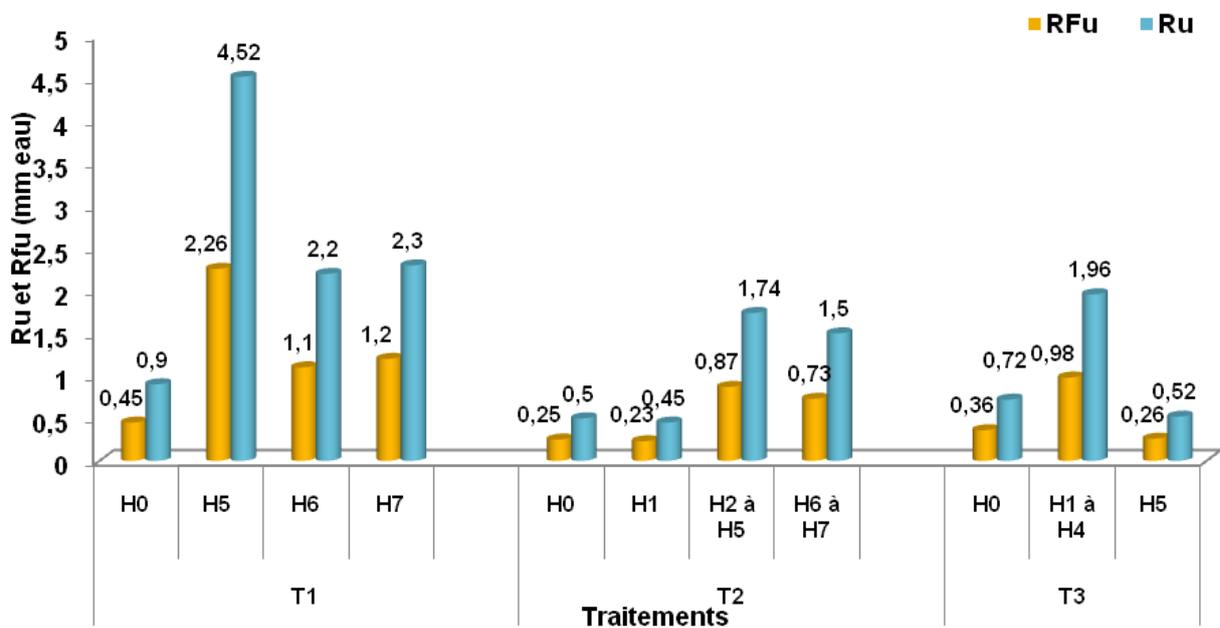
Les courbes des trois traitements se différencient peu, les écarts sont observés essentiellement aux faibles pressions. En effet, c'est la structure du sol induite par les traitements différents qui modifie le comportement des sols à ce potentiel, car à pF 4.2, c'est la texture qui s'exprime, celle-ci étant la même pour les trois profils.

### 3.3.2 Réserve utile (RU) et la réserve facilement utilisable (RFU)

La réserve utile (RU) et la réserve facilement utilisable (RFU) du sol sont deux propriétés dont le rôle est important dans l'alimentation hydrique des plantes du fait que le sol joue le rôle de réservoir d'eau.

La texture du sol a une importance primordiale sur cette propriété, les sols de texture fine (argiles, limons) ont des interstices plus petits et un rapport surface/volume des particules plus élevé que les sols de texture grossière, ce qui illustre le fait que plus la texture est fine, plus le sol retient de l'eau de manière vigoureuse (Bonn, 2002).

Dans le traitement semis direct, la RU est de 4.52 mm, c'est la plus élevée. Cependant, comparativement à d'autres sols, elle s'avère plutôt faible. L'épaisseur des horizons explique ces niveaux bas.



**Figure 24. Réserve utile et réserve facilement utilisable des trois traitements**

Le calcul de la porosité totale des horizons des trois traitements culturels montre que l'horizon de surface H0 de T1 (48.1%) et H0, H1 de T2 dont les valeurs sont respectivement 41 % et 47,2 % et les horizons H0 et H1 à H4 de T3 (48,7 %, 58,5 %) présentent des taux de porosité favorable sur le plan agronomique.

Nicou (1971), estime qu'en dessous de 40 % de porosité, il n'y a pas d'enracinement possible pour certaines cultures. L'analyse de la variance montre que la différence de porosité au sein du même profil et entre traitements est non significative. Dans le H0 de T1 ce taux de porosité peut s'expliquer par la présence des résidus des cultures précédentes et des plantes adventives. Ceux-ci augmentent l'activité biologique en surface et rendent le sol plus poreux. De même, le travail du sol (profond et minimum) augmente la porosité des horizons de surface et sub-surface, ce qui permet une bonne germination des semences.

A saturation, les horizons H0 et H5 du semi direct bénéficient d'une capacité en eau plus élevée en comparaison avec le labour et le travail minimum. Ces différences s'expliquent par la présence d'une teneur élevée en matière organique brute et à la forte porosité dans ces horizons

Les écarts sont relativement élevés aux hauts potentiels, ils se réduisent au fur et à mesure que la contrainte augmente pour devenir insignifiants aux bas potentiels (pF4.2).

La réserve utile est plus élevée dans le semis direct particulièrement dans l'horizon H5. Cette propriété est fondamentale pour les rendements des cultures surtout dans les pays semi-arides comme c'est le cas de la plus grande partie des régions nord de l'Algérie.

### 3.4 Distribution de la porosité

Les traitements mécaniques appliqués aux sols ont des effets immédiats sur leurs propriétés physiques. Plusieurs méthodes existent pour en évaluer leur impact, parmi celles-ci, nous avons retenu la mesure de la porosité et sa distribution en classes et en catégories de pores, la première constitue une approche physique tandis la deuxième est considérée comme étant pédogénétique. Ainsi, huit classes de pores ont été fixées correspondant aux différents potentiels, les calculs ont fait appel à la loi de Jurin.

Ces classes ont ensuite été regroupées en trois catégories de pores (Calembert, 1983).

#### Macroporosité :

Drainage rapide :  $\varnothing > 76.5 \mu\text{m}$

Drainage lent :  $38.25 \mu\text{m} < \varnothing < 76.5 \mu\text{m}$

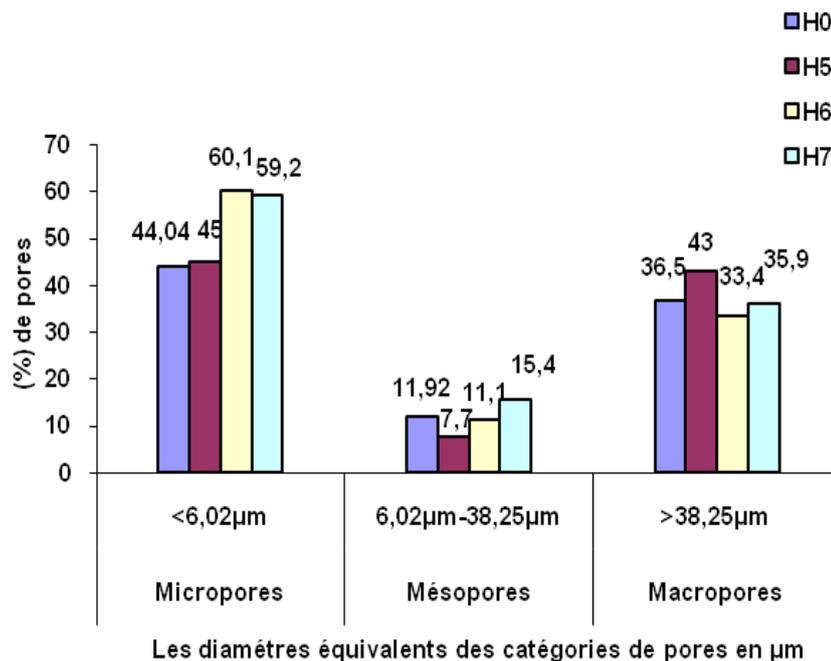
#### Mésoporosité :

Diffusion rapide :  $6.02 \mu\text{m} < \varnothing < 38.25 \mu\text{m}$

#### Microporosité :

Utile :  $0.2 \mu\text{m} < \varnothing < 6.02 \mu\text{m}$

Inaccessible :  $\varnothing < 0.2 \mu\text{m}$



**Figure 25 .Distribution dimensionnelle de la porosité du traitement T1**

Dans le semis direct, les micropores présentent les taux les plus élevés particulièrement dans les horizons profonds, donc hors d'atteinte des instruments de travail du sol. Les mésopores sont faiblement représentés dans tous les horizons alors que les grands vides se situent dans les horizons H0 et H5 traduisant un sol mieux structuré.

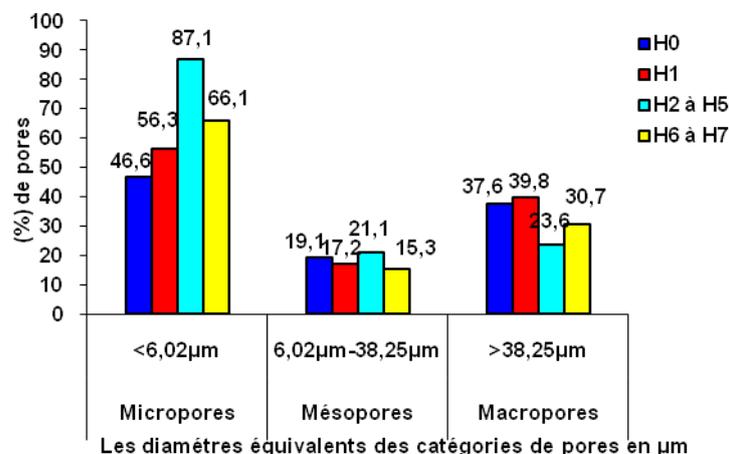


Figure 26. Distribution dimensionnelle de la porosité du traitement T2

De part leur position dans le profil, les horizons profonds subissent la pression des couches supérieures, de plus, ils sont hors d'atteinte des instruments de travail du sol, ce qui explique la forte présence des micropores à ce niveau du profil. Parfois le lissage provoqué par les socs et autres dents d'outils accentue la formation des pores très fins. Inversement, en surface, l'activité biologique favorise la formation d'une bonne structure constituée en partie de macropores (H0 et H1), cependant, peu de différences de taux de ce type sont observées entre les traitements T2 et T3.

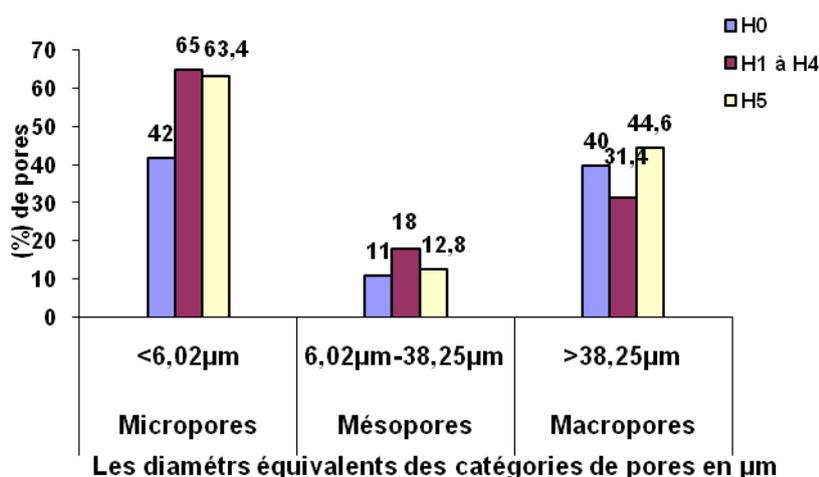
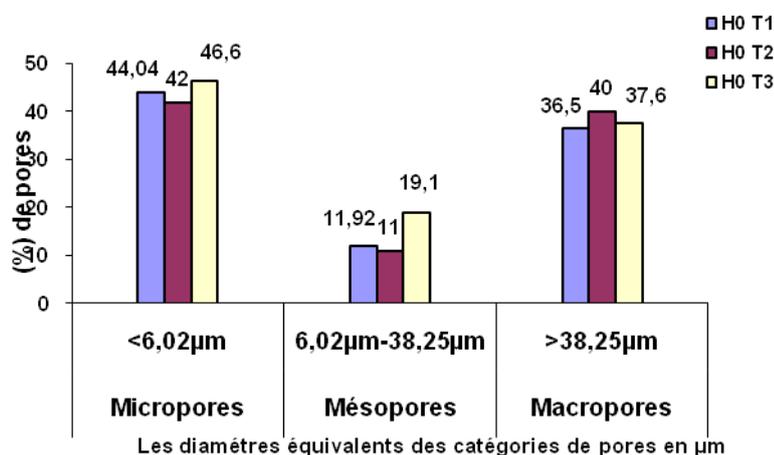


Figure 27. Distribution dimensionnelle de la porosité du traitement T3

Dans le traitement travail minimum (T3), les grands vides sont un peu plus élevés que dans les autres traitements tandis que les pores de dimensions intermédiaires y sont les plus bas. La distribution des micropores est similaire à celle du traitement semis direct.



**Figure 28 .Distribution dimensionnelle de la porosité de l'horizon H0 des trois traitements**

La comparaison des catégories de pores par traitement montre de faibles différences, les macropores sont dominants dans le labour alors que les micropores le sont dans le travail minimum mais avec un très faible écart, c'est également dans ce dernier que les mésopores sont les plus importants.

L'étude de la porosité par la comparaison du spectre poral en huit classes des horizons des trois traitements montre que globalement, les micropores très fins sont largement représentés, ils expriment ainsi la texture fine et la structure médiocre de ces sols, cette porosité retient énergiquement l'eau (>1600kPa) est donc non disponible aux plantes. Les plus gros pores (> 76,50 µm) viennent en seconde position, ils reflètent essentiellement l'activité biologique notamment le système racinaire car ces sols sont parfois occupés par des cultures ayant un système racinaire profond, la dégradation des racines en profondeur laisse quelques porosités tubulaires.

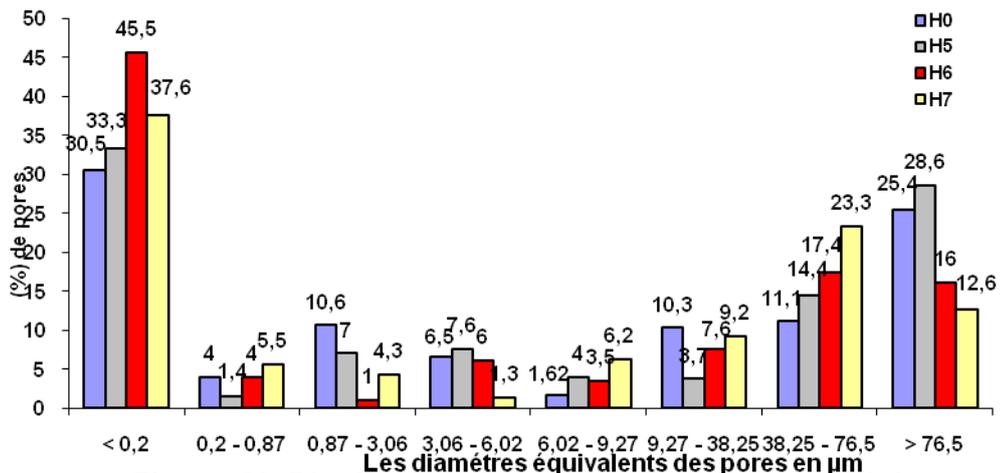


Figure 29. Distribution dimensionnelle de la porosité du traitement T1

En surface et subsurface, les résidus végétaux, en se biodégradant, contribuent quel que peu à la formation d'une macrostructure. L'observation des profils culturaux a permis de noter la présence dans les horizons supérieurs d'une microfaune favorable à la structuration du sol.

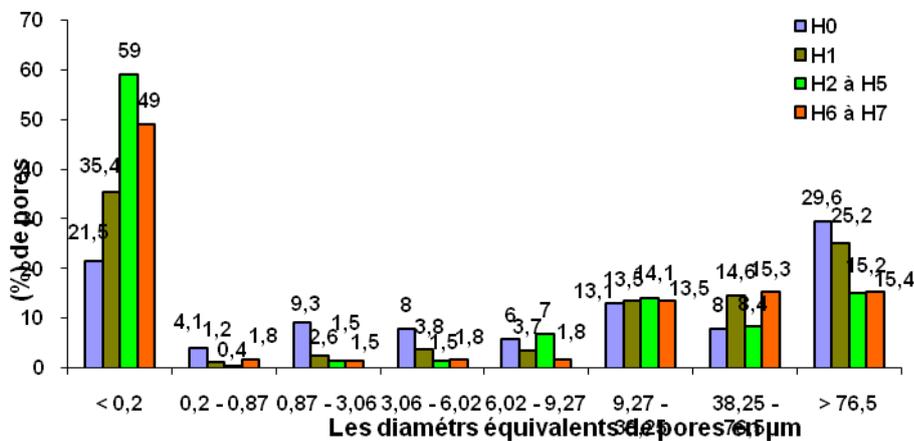


Figure 30. Distribution dimensionnelle de la porosité du traitement T2

Le travail du sol qui donne les taux les plus élevés de macropores est l'horizon de surface de T3 (H0 : 37 %), tandis que les micropores sont mieux représentés dans les horizons profonds du labour (H2 à H5 : 59 %). La porosité utile (RU), quoique faible partout, est légèrement plus favorable dans le semis direct. La mésoporosité est inégalement réparties entre traitements et horizons mais reste mieux distribuée dans le semis direct.

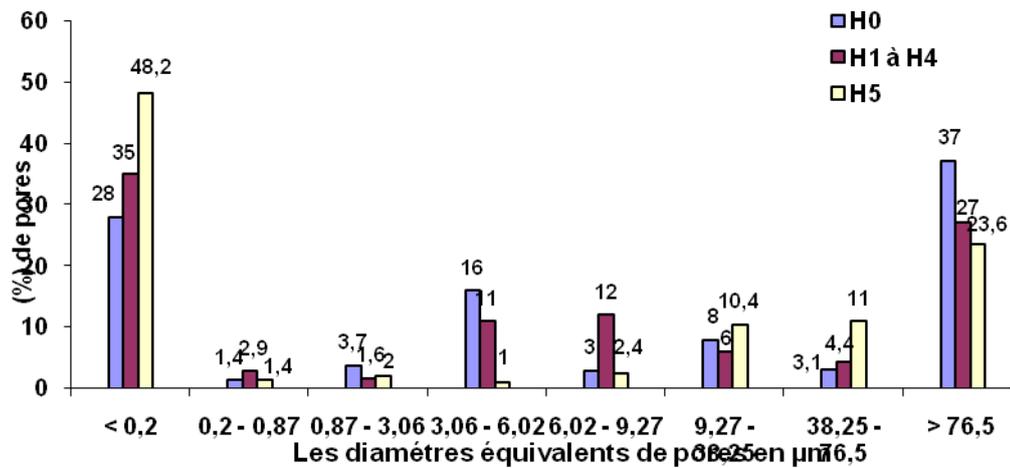


Figure 31 . Distribution dimensionnelle de la porosité du traitement T3

Le travail minimum du sol qui donne les taux les plus élevés de macropores est l'horizon de surface

### 3.5 La stabilité culturelle : Is

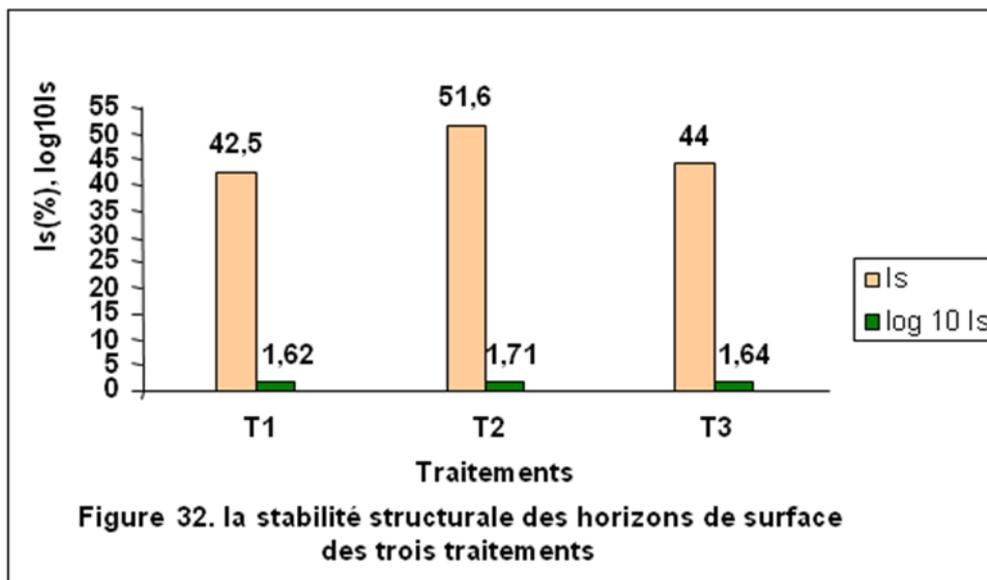


Figure 32. la stabilité structurale des horizons de surface des trois traitements

### Figure 32. La stabilité structurale des horizons de surface des trois traitements

Ces sols ont une stabilité médiocre, (figure 32), néanmoins, l'horizon de surface du traitement T1 présente une stabilité structurale (42.46) légèrement meilleure que celle deux autres traitements. Malgré la courte durée de l'essai, cet aspect positif peu est expliqué par une plus forte concentration de la matière organique en surface, celle-ci protège le sol contre l'érosion par son action cimentante.

## DISCUSSION

Dans le semis direct, les macropores se situent dans les horizons H0 et H5 traduisant un sol mieux structuré en raison de sa forte activité biologique tandis que les micropores présentent les taux les plus élevés dans les horizons profonds. Dans le travail profond, l'action mécanique favorise la formation d'une structure grossière constituée en partie de macropores (H0 et H1), alors que dans les horizons profonds (H2 à H5 et H6 à H7) il y a la présence d'une forte microporosité avec respectivement 87,1 % et 66,1 %, par ailleurs, le lissage provoqué par les socs et autres dents d'outils accentue la formation des pores très fins. Cependant, peu de différences de taux de ce type sont observées entre les traitements T2 et T3, tandis que les mésopores présentent les valeurs les plus basses dans les traitements T1 et T3.

L'étude de la distribution de la porosité du spectre poral des horizons des trois traitements en huit classes montre que les micropores sont largement représentés. Les plus gros pores ( $> 76,50 \mu\text{m}$ ) viennent en seconde position par la présence de macroporosité tubulaire qui reflète une forte activité biologique. La porosité utile (RU) est faible partout, elle est légèrement plus favorable dans le semis direct. La mésoporosité est inégalement répartie entre traitements et horizons mais reste mieux distribuée dans le semis direct parce que c'est un sol non perturbé. Le traitement T1 présente une stabilité structurale (42.46) meilleure que celle des deux autres traitements et s'explique par l'accumulation de la matière organique brute en surface qui lie les agrégats entre eux et protège le sol contre les agents dégradants.

## Chapitre II : Partie végétal

### 4 Effets des trois traitements culturaux sur le végétal

#### 4.1 Sur les caractères morphologiques

Les différents résultats sont présentés dans l'annexe 2

**4.1.1 Longueur de l'épi :** cette variable est en relation avec la composante principale du rendement qui est le nombre des grains. Plus la longueur de l'épi est importante plus le nombre de grain est important.

Les résultats de la figure 33 montrent que le traitement T2 présente la longueur moyenne d'épi la plus élevée (6.85 cm), il est suivi du traitement T1 (6.37 cm), et enfin par le traitement T3 (6.3 cm). L'analyse de la variance a montré un effet non significatif entre les trois traitements.

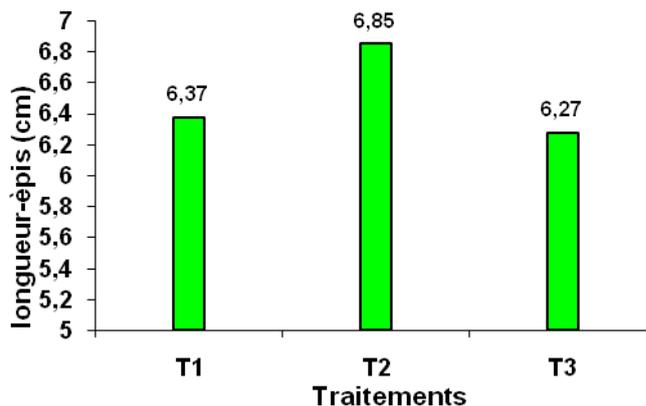


Figure 33 . Longueur moyenne d'épis des trois traitements

Les valeurs de ce paramètre dans les trois traitements sont conformes à celles obtenues dans d'autres recherches. Hattabi (1999) a trouvé une valeur de la longueur moyenne des épis de 6.4 cm pour la même variété. Cependant, d'après Jonard (1964) cité par Hattabi (1999), la longueur de l'épi est une caractéristique variétale peu influençable par les variations extérieures.

#### 4.1.2 Hauteur des plants

Les valeurs moyennes de la hauteur des plants représentées graphiquement (figure34) indiquent que le traitement T2 présente la hauteur moyenne la plus élevée, elle est de 69.45 cm, les deux autres traitements sont presque identiques.

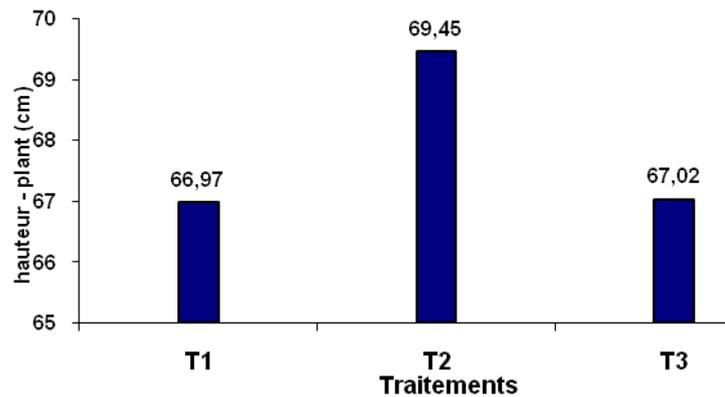


Figure 34 . Hauteur moyenne des plants des trois traitements

La hauteur moyenne des plants des trois traitements est supérieure à celle obtenue par Hattabi (1999), par ailleurs, Moulai (2000) note que la hauteur des plants dépend de la variété et de la fumure azotée. ), L'analyse de la variance a donné un effet non significatif avec  $p=0.42$

**4.1.3 Hauteur de la barbe :** pour la culture du blé dur, la hauteur de la barbe est un paramètre morphologique lié à la tolérance au déficit hydrique. La figure 35 montre que la hauteur moyenne de la barbe varie peu entre les traitements, elle est de 14.47 cm pour le T2 et seulement de 13.4cm pour le T3. Comparés par ANOVA à 5%, les résultats obtenus des trois traitements ne sont pas significatifs ( $p=0.09$ ).

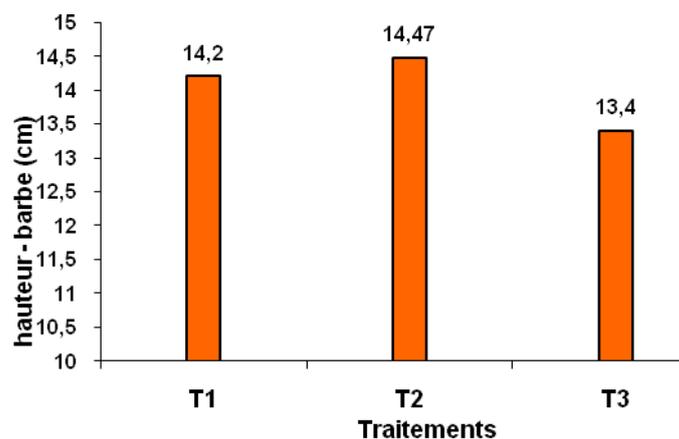


Figure 35 . Hauteur moyenne de la barbe des trois traitements

## 4.2 Les composantes du rendement

Les composantes étudiées sont :

Nombre de plants/m<sup>2</sup>

Nombre épis/m<sup>2</sup>

Nombre épillets/épi

Nombre de grains/épi

Poids de mille grains

Poids de la matière sèche

### 4.2.1 Nombre de plants /m<sup>2</sup>

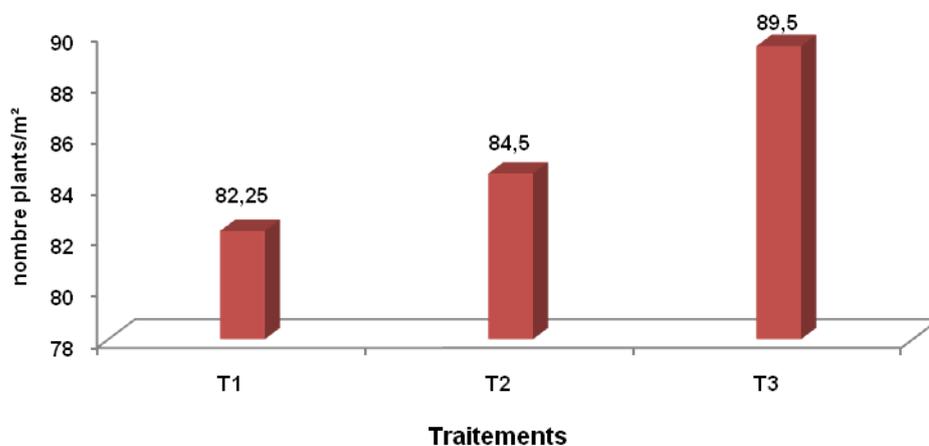


Figure 36 . Nombre moyen de plants/m<sup>2</sup> des trois traitements

Le nombre de plants/m<sup>2</sup> le plus élevé est enregistré dans le traitement T3 avec une valeur de 89,5 plants/m<sup>2</sup> alors que la plus faible se situe dans le T1 (82,25 plants/m<sup>2</sup>), soit une différence de 7,25 plants/m<sup>2</sup>.

Pour les trois traitements, ces valeurs restent très faibles, en effet, les résultats obtenus par Hattabi (1999) sont plus élevés (environ 400 plants/m<sup>2</sup>) mais avec une dose de semis de 275kg/ha, or dans notre expérimentation, la dose de semis n'était que de 150 kg/ha.

A cela, il faut ajouter les pertes notées au stade levé dans le traitement semis direct, elles sont dues en partie à l'état structural du sol défavorable (densité apparente de 1,8) mais également à la matière organique brute en surface qui entrave le développement des plantules. Aucune différence significative entre les trois traitements n'a pu être déterminée ( $p = 0,96$ ).

### 4.2.2 Nombre d'épis/m<sup>2</sup>

La figure 37 indique que le nombre d'épis/m<sup>2</sup> est de 228.5 ; 231 ; 263.5 respectivement pour les traitements T3, T2, T1. Le niveau de ce paramètre dépend de la densité et de la puissance du tallage qui est lui même conditionné par la nutrition azotée (Ladjama, 1983 cité par Djabour, 1984).

Grignac (1981), cité par Hattabi (1999) recommande un nombre d'épis/m<sup>2</sup> variant entre 350 et 460 épis/m<sup>2</sup>. Pour Debaeck *et al*, (1996), une chute du nombre d'épi/m<sup>2</sup> résulte d'un déficit en eau au stade montaison qui apparaît à la suite d'une régression des talles.

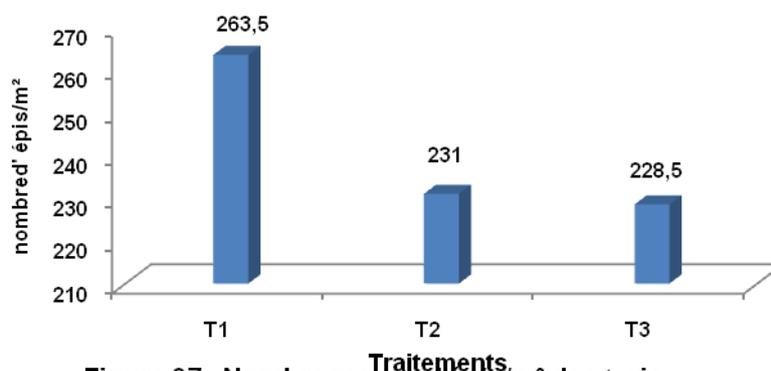


Figure 37. Nombre moyen d'épis/m<sup>2</sup> des trois traitements

Les valeurs obtenues dans cet essai sont légèrement inférieures à celles obtenues dans d'autres recherches. En effet, plusieurs auteurs travaillant sur la même variété et dans diverses stations (notamment la station expérimentale de l'Institut National Agronomique d'El Harrach) ont obtenu un nombre d'épis plus important. La seule explication concernant cette faible performance réside probablement dans un déficit hydrique momentané à un stade végétatif critique. Ces résultats ont été testés par l'analyse de la variance et ont montré un effet non significatif avec une probabilité de  $p=0.89$ .

#### 4.2.3 Nombre moyen d'épillets stériles/épi

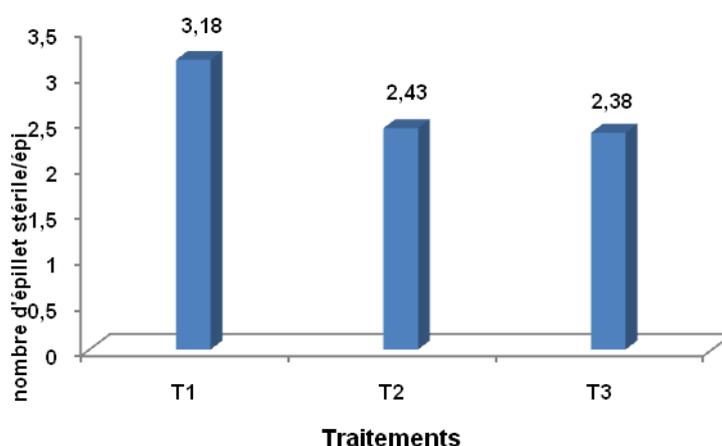
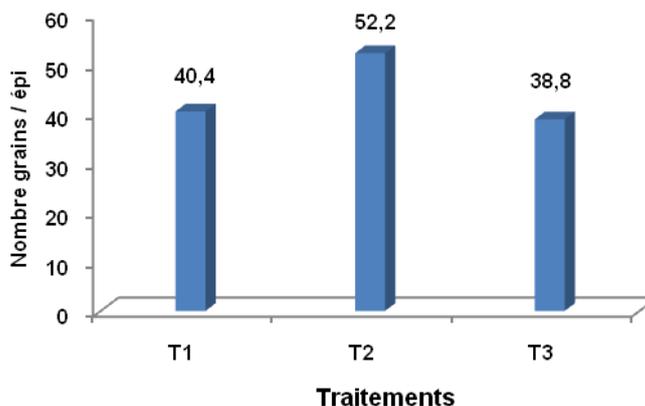


Figure 38. Moyen de nombre d'épillets stérile/épi des trois traitements

Les trois traitements présentent un nombre d'épillets stérile/épi inférieur à 3,2 ; les différences sont très faibles, indiquant ainsi, que ce paramètre est peu influencé par le travail du sol. Cette constatation est confirmée par l'analyse de la variance au seuil de 5 % qui a montré un effet non significatif pour les trois traitements.

#### 4.2.4 Nombre de grains/épi



**Figure 39 . Rendement moyen en grains/épi des trois traitements**

Le traitement T2 donne le nombre de grains/épi le plus élevé, ces résultats (figure 39), comparés à ceux d'autres auteurs notamment à ceux de Feliachi et Perlini (1999, 2000), sont inférieurs pour les deux stations d'étude de l'I.T.G.C. (Oued Smar 2003). Par contre, en comparant aux résultats obtenus par les mêmes auteurs mais dans d'autres stations et par Hattabi (1999), les valeurs moyennes obtenues leur sont supérieures.

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

Grignac (1981) cité par Hattabi (1999), considère que la fertilité des épillets comme étant une composante déterminante pour le rendement dans les régions méditerranéennes, les valeurs optimales du nombre de grains/épi qui permettent l'obtention des rendements les plus élevés en zone méditerranéenne et en absence de déficit hydrique, oscillent entre 38 et 51. Soumis à une analyse statistique (ANOVA 5%) Les résultats obtenus (annexe 2) montrent qu'il n'y a pas une différence significative entre les trois traitements ( $p=0.11$ ).

#### 4.2.5 Poids de mille grains

Le poids de mille grains des traitements travail profond et travail minimum est sensiblement identique alors que celui du semis direct est plus faible. Ces résultats se rapprochent de ceux de Hattabi (1999), mais ils sont supérieurs à ceux obtenus par Feliachi et Perlini (1999, 2000).

Le poids de mille grains pour cette variété concorde avec celui proposé par Grignac (1981) en zone méditerranéenne et en conditions de culture intensive. D'après cet auteur, le poids optimal de 1000 grains qui permet l'obtention des rendements les plus élevés doit être supérieur à 48g. L'analyse de la variance a donné un effet non significatif avec une probabilité égale à 0.2.

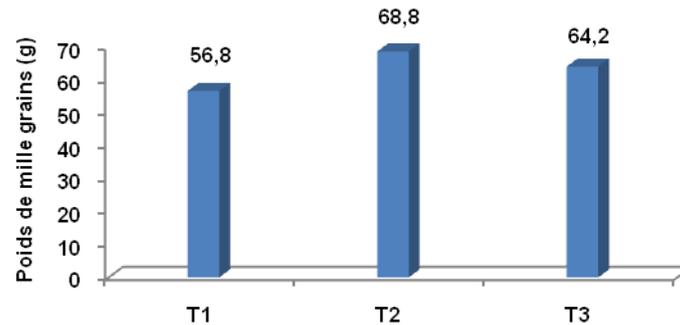


Figure 40 . Poids de mille grains des trois traitements

#### 4.2.6 Poids de la matière sèche ( $g/m^2$ )

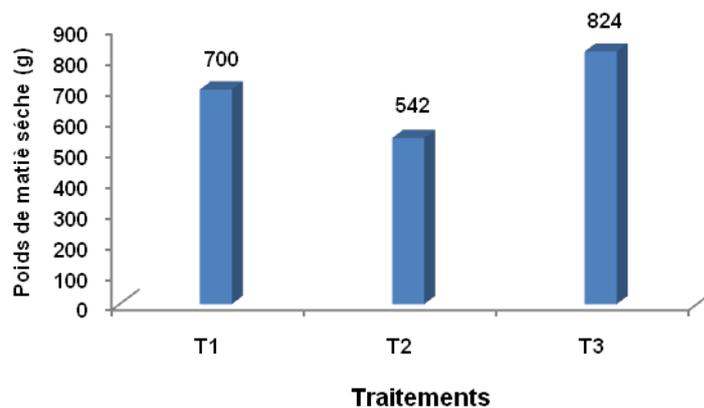


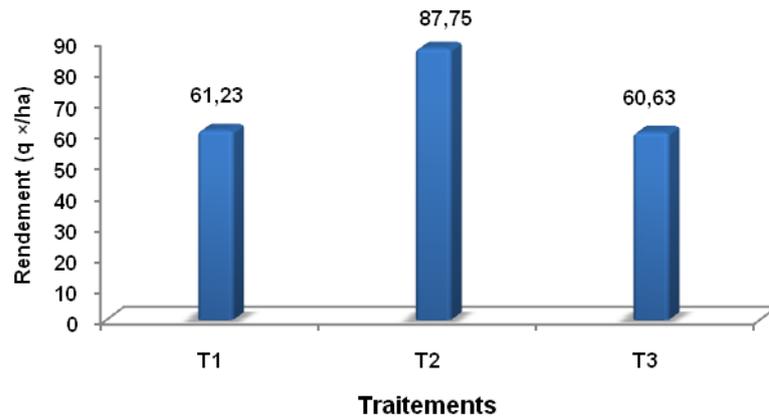
Figure 41. Rendement moyen en matière sèche aérienne / $m^2$  des trois traitements

La biomasse aérienne constituera après la récolte, les résidus végétaux source première de matière organique. Son importance est indiscutable tant pour le sol que comme moyen de séquestration du carbone de l'air. Dans notre pays, particulièrement dans les systèmes agro-pastoraux, elle a un rôle économique car elle constitue une source alimentaire pour les animaux. Le travail minimum a produit 824 grs/m<sup>2</sup> il est suivi du semis direct avec 700 grs/m<sup>2</sup> tandis que le labour a donné le poids le faible.

#### **4.2.7 Rendement en grains (qx/ha)**

La Figure 42 montre que le rendement maximum de blé dur est obtenu dans le traitement labour avec 87,85 qx/ha, les deux autres traitements donnent également des rendements élevés de 61,22 qx/ha et 60,625qx/ha pour respectivement le semis direct et le travail minimum. Ces valeurs sont proches de celles obtenues dans plusieurs essais soit à l'I.N.A. (Zaamoum, 2004) soit à l'I.T.G.C. (1999, 2000 et 2003). Ces rendements sont obtenus sans irrigation (régime pluvial).

Une explication partielle relative aux rendements moins élevés dans le semis direct et le travail minimum réside dans la forte présence de mauvaises herbes particulièrement dans le traitement T1. Ces mauvaises herbes ont exercé une forte concurrence sur les plans de l'alimentation hydrique et minérale vis-à-vis de la culture. Malgré ses limites, il est cependant indéniable que le labour améliore beaucoup plus les propriétés physiques des sols notamment ceux dont la structure est fragile (excès de limon et faibles teneurs en matière organique). L'analyse de la variance a montré un effet non significatif avec une probabilité de  $p=0.41$



**Figure 42 . Rendement en grains (qx/ha) de la culture de blé dur des trois traitements**

## Discussion

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

Le traitement T2 présente la longueur moyenne d'épi la plus élevée (6.85 cm), la hauteur moyenne de plants la plus élevée (69.45 cm) ainsi la hauteur de la barbe la plus longue (14.47 cm), et enfin, le poids de mille grains le plus élevé (52,2g) ce qui justifie un rendement plus élevé.

Le nombre de plants/m<sup>2</sup> le plus élevé est enregistré dans le traitement T3 avec une valeur de 89,5 plants/m<sup>2</sup>, le nombre d'épis/m<sup>2</sup> est de 228.5 ; 231 ; 263.5 respectivement pour les traitements T3, T2, T1.

L'analyse de ces valeurs montre que le rendement est influencé par les différentes techniques du travail du sol, le meilleur rendement du blé dur est obtenu dans le traitement T2 (travail profond), il est de 87,85 qx/ha. Les deux autres traitements donnent également des rendements élevés de 61,22 qx/ha et 60,625qx/ha pour respectivement le semis direct et le travail minimum. Ces valeurs sont proches de celles obtenues dans plusieurs essais soit à l'I.N.A. (Zaamoum, 2004) soit à l'I.T.G.C. (1999, 2000 et 2003). Ces rendements sont obtenus sans irrigation (régime pluvial).

## CONCLUSION GENERALE

L'objectif de ce travail est de comparer l'effet de différentes techniques culturales du travail du sol (travail profond, travail minimum et semi direct) sur le fonctionnement physique et hydrique d'un sol limono- argileux et leurs conséquences sur les composantes du rendement d'une culture de blé dur. La mise en évidence des différences observées entre ces traitements culturaux est réalisée par une double approche : morphologique sur le terrain par la réalisation d'un profil cultural par traitement et analytique au laboratoire, par les mesures des principales propriétés physiques et de rétention en eau.

- les trois techniques culturales ont été mises en oeuvre sur un sol de la même unité cartographique,

- l'identification morphologique des différents horizons culturaux a fait appel à la méthode Manichon (1982), alors que les analyses physiques de chaque horizon ont été réalisées sur les agrégats centimétriques (densité apparente, porosité totale, distribution de l'espace poral, réserve en eau du sol).

Au terme de ce travail, les principaux résultats obtenus montrent que :

Le profil 1 (semi direct) présente quatre horizons culturaux différents : H0, H5, H6, H7 alors que le profil 2 (travail profond) a engendré H0, il est identique à celui du semi direct, ainsi que les horizons H2 à H5 et H6 à H7.

Le travail minimum a provoqué l'apparition de trois horizons culturaux différents H0, H5 ce sont les mêmes qu'on retrouve dans le semi direct et le travail profond, puis l'horizon H1 à H4, ce dernier ne se rencontre pas dans les autres traitements.

Les valeurs de la densité apparente changent d'un horizon à un autre au sein du même profil et d'un traitement à un autre, elle est légèrement supérieure dans l'horizon H5 de T1 (1.47), et H1 à H4 de T3 (1.36) mais ces différences ne sont pas statistiquement significatives. On peut constater que le travail profond du sol (25 cm) améliore la structure du sol par la réduction de la densité apparente et l'augmentation de la porosité. L'amélioration de la porosité du sol se traduit par une plus grande rétention de l'eau dans les horizons explorés par les racines. L'analyse de la variance des densités apparentes a montré un effet non significatif pour les trois traitements au seuil de 5%.

Le calcul de la porosité totale pour les horizons des trois traitements culturaux montre que l'horizon de surface H0 de T1 (48.1%) et H0, H1 de T2 avec des valeurs respectivement de 41 % et 47,2 % et les horizons H0 et H1 à H4 de T3 (48,5%, 58,5%) présentent des taux de porosité favorables aux cultures.

Nicou (1971), estime qu'en dessous de 40% de porosité, il n'y a pas d'enracinement possible pour certaines cultures. L'analyse de la variance montre que les différences de porosité au sein du même profil et entre traitements sont non significatives. La forte porosité du H0 du semis direct s'explique par la présence de résidus des cultures précédentes et ceux des plantes adventices qui augmentent l'activité biologique en surface et rendent le sol plus poreux. En profondeur, le travail du sol profond et ainsi que celui minimum rendent le sol plus poreux dans les horizons de

surface et sub-surface permettant ainsi une bonne germination et une croissance suffisante de la culture du blé dur. Soumis à une analyse statistique (ANOVA à 5%), les résultats obtenus montrent qu'il n'y a pas de différences significatives entre traitements et au sein des mêmes traitements.

A saturation, les horizons H0 et H5 du semi direct bénéficient d'une capacité en eau plus élevée en comparaison avec le labour et le travail minimum. Ces différences s'expliquent par la présence d'une teneur élevée en matière organique brute et à la forte porosité de ces horizons.

Les écarts sont relativement élevés aux hauts potentiels, ils se réduisent au fur et à mesure que la contrainte augmente pour devenir insignifiants aux bas potentiels (pF4.2).

La réserve utile est plus élevée dans le semis direct particulièrement dans l'horizon H5. Cette propriété est fondamentale pour les rendements des cultures surtout dans les pays semi-arides comme c'est le cas de la plus grande partie des régions nord de l'Algérie.

Les mesures sur la distribution de la porosité en trois catégories de pores montrent que dans le semis direct les macropores se situent dans les horizons H0 et H5 traduisant un sol mieux structuré tandis que les micropores présentent les taux les plus élevés dans les horizons profonds. Le travail profond favorise la formation d'une macrostructure en surface (H0 et H1), par contre les horizons profonds (H2 à H5 et H6 à H7) présentent une forte microporosité avec des valeurs respectivement de 87,1 % et 66,1 %, cependant, peu de différences sont observées entre les traitements T2 et T3. Dans le travail minimum (T3), les macropores sont un peu plus élevés que dans les autres traitements alors que les mésopores présentent les valeurs les plus basses dans les traitements T1 et T3.

L'étude de la porosité du spectre poral en huit classes des horizons des trois traitements montre que les micropores sont largement représentés, les plus grands pores (> 76,50  $\mu\text{m}$ ) viennent en seconde position par la présence de macroporosité tubulaire qui reflète une forte activité biologique. La porosité utile (RU) est faible partout, mais légèrement plus favorable dans le semis direct, les taux d'argile de ces sols relèvent parallèlement aussi bien la capacité de rétention que l'humidité au point de flétrissement permanent. La mésoporosité est inégalement réparties entre traitements et horizons mais reste mieux distribuée dans le semis direct parce que c'est un sol non perturbé. Le traitement T1 présente une stabilité structurale (42.46) meilleure que celle des deux autres traitements en raison essentiellement de sa protection par la matière organique de surface contre les agents de dégradation.

Les résultats des composantes du rendement de la culture du blé dur indiquent quelques différences entre les trois techniques culturales dues certainement aux différenciations des profils culturaux. Les effets, mêmes s'ils ne sont pas statistiquement significatifs, peuvent influencer sur la germination, la levée et le développement de la culture.

Le traitement labour présente les meilleures performances phytotechniques (longueur moyenne d'épi : 6.85 cm ; hauteur moyenne de plants : 69.45 cm ; hauteur

de barbe : 14,47 cm ; poids de mille grains : 52,2g) c'est ce qui l'obtention du rendement le plus élevé. Le nombre de plants/m<sup>2</sup> le plus élevé est enregistré dans le traitement T3 avec une valeur de 89,5 plants/m<sup>2</sup>, le nombre d'épis/m<sup>2</sup> est de 228.5 ; 231 ; 263.5 respectivement pour les traitements T3, T2, T1.

L'analyse de la variance des composantes des rendements a donné un effet non significatif entre les trois traitements au seuil de 5%

L'analyse de ces valeurs montrent que le rendement est influencé par les différentes techniques du travail du sol, le meilleur rendement du blé dur est obtenu dans le traitement labour qui est de 87,85 qx/ha, les deux autres traitements donnent également des rendements élevés de 61,22 qx/ha et 60,625qx/ha pour respectivement le semis direct et le travail minimum. Ces valeurs sont proches de celles obtenues dans plusieurs essais soit à l'I.N.A. (Zaamoum, 2004) soit à l'I.T.G.C. (1999, 2000 et 2003). Ces rendements sont obtenus sans irrigation (régime pluvial).

Malgré le nombre de résultats obtenus dans ce travail, cette expérimentation aurait donné de meilleures indications sur les techniques culturales si la durée était plus longue. D'après de nombreux chercheurs, un minimum d'une rotation triennale est nécessaire pour observer des différences significatives et commencer à apprécier les bénéfices du semis direct. Enfin, il ne faut pas oublier qu'une technique culturale peut être favorable ou non selon que la pluviométrie de la campagne agricole est bonne ou inversement, c'est ce qui justifie la nécessité de prolonger les essais sur plusieurs années.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Abib F., Haddab H., 1995** -Cartographie des sols de la station expérimentale de L'I.N.A. Mémoire d'ingénieur, I.N.A El Harrach, 91p

**Abiven S., 2004**- Relations entre caractéristiques des matières organiques apportées, dynamique de leur décomposition et évolution de la stabilité structurale du sol. Thèse de doctorat de l'ENSAR: 228P.

**Aidaoui A., Hartani T., 2000** - Gestion de l'irrigation du blé dur par des indicateurs de l'état hydrique, I.N.A. d'Alger. L'amélioration du blé dur dans la région méditerranéenne, Options méditerranéennes Série A : Séminaire méditerranéen CIHEAM, pp 579-528.

**Angers D.A., Caron J., 1998** - Plant-induced changes in soil structure: processes and feedbacks. *Biogeochemistry*, 42, pp 55-72.

**Annabi M., 2005** - Stabilisation de la structure d'un sol limoneux par des apports de composts d'origine urbaine: relation avec les caractéristiques de leur matière organique. Thèse de doctorat INA Paris-Grignon : 270p.

**Barthélemy R., Boisgontier D ; Coste J.L et Gillet J.P 1994** – simplification du travail du sol : les derniers acquis, éd. INRA, n° 194, pp 39-78.

**Boisgontier. D ; Costes. J.L et Gillet. J.P (1994)** : Travail du sol ; réussir l'implantation, I.T.C.F. Perspectives agricoles, France, n° 194, pp 39 – 78.

**Baize D., 1995**- Guide pour la description des sols, INRA édition, 375 p.

**Benzohra K., 1996** - Influence de six chaînes d'outils aratoires sur quelques indices qualitatifs du sol et sur la croissance et le développement de deux variétés de blé dur, Waha et Mexicali, Thèse de magister. I.N.A, El Harrach, 151 p.

**Bigorre F., Tessier D et Pedro G., 2000**- Contribution des argiles et des matières organiques à la rétention de l'eau dans les sols. Signification et rôle fondamental de la capacité d'échange en cations. *C.R. Acad. Sci. Paris*, vol 330, pp 245-250.

**Bonn F., 2002** - L'eau dans le système sol- plante – atmosphère. ([www.INRA.fr](http://www.INRA.fr))

**Boone F. R., Slager S., Miedema R et Eleveld R., 1976** – some influence of zero tillage on the structure and stability of a fine texture driver levee soil. *Neth. J. Agric.sci.* vol 24105-119.

**Bouma J., Jongerius O., Boersma A., Jager and D Schoonderbeek 1977** - The function of different types of macropores during saturated flow through four swelling soil horizon. *Soil Sci. Amer. J.*, vol 41, pp 945-950.

**Bouzza A., 1990**- 'Water conservation in wheat rotations under several management and tillage systems in semi-arid area' these de doctoral, Nebraska, 97p.

**C.P.C.S., 1967** - Classification des sols: Ed. I.N.R.A Paris. 96p.

- Calembert J., 1985** – Cours de physique du sol. Faculté. Sci. Agro. Gembloux, 57p.
- Calvet R., 2003** -Le sol propriétés et fonction, Tome I : Constitution et structure phénomènes aux interfaces. Ed France Agricole, 456 P.
- Candelon P., 1981** – « les machines agricoles : matériel de préparation du sol et fertilisation du sol, Vol 1, édition, J.P.Baillière, Paris.
- Charreau C et Nicou R., 1971** – amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche ouest – Africaine et ses incidences agronomiques. L’Agronomie tropicale N°5 209 -255, N°9 903 -978, N°11 1184 -1247.
- Chenu C., Le Bissonnais Y., Arrouays D., 2000** - Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. Soil Sci. Soc. Am. J, vol 64, pp 1479-1486.
- Chopart J, L., 1986** - Agronomic comparison between different soil tillage techniques applied to a com-cotton sequence in Ivory-Coast. Soil and Tillage Research. Vol 8, n°6, pp355-356.
- Chopart J.L., 1997** - Chapitre 5 – Systèmes racinaires des cultures annuelles tropicales: Effets du travail du sol sur les racines. Archives de document de la FAO, le travail de sol pour une agriculture durable. Cour de formation. 4 -13 Juillet 1994. 6 p. Niamey, Niger.
- Chopart J.L., et Nicou R., 1976** – Influence du labour sur le développement racinaire de différentes plantes cultivées au Sénégal. Conséquences sur leur alimentation hydrique. L’agronomie Tropicale. Vol 31, n°1, pp 7-28.
- Chopart J.L., Kalms J.M., Marquette J et Nicou R., 1981** - Comparaison de différentes techniques de travail du sol en trois écologies de l’Afrique de L’Ouest. IRAT (CIRAD), B.P. 505 35 Montpellier, France ; 66p.
- Couvreur F., 1981** - « La culture du blé se raisonne », Cultivar. Juin 1981. ITCF. Pp, 39-41.
- Dagnelie., 1975** - Théorie et méthodes statistiques : applications agronomiques. Vol II, les méthodes de l’inférence statistique.
- Dalleine E., 1974** -« La préparation des terres et le labour de qualité », éd C.N.E.E.M.A, n° 193 et 194 pp 13 -18.
- De Leenheer L., 1967** - Considération critiques sur la valeur des résultats de la détermination de la porosité totale et de la distribution des pores du sol. Pédologie 2 .pp. 123-152.
- Debaeck P., Puech J et Casal M., 1996-** Elaboration du rendement du blé d’hiver en condition de déficit hydrique ; étude en lysimètres, vol 16, n° 1, p 25-46.

**Dexter A.R., 1988** - Advances in characterization of soil structure. Soil Till. Res., vol 11, pp 199- 238.

**Diaz-Zorita M., Perfect E., Grove J.H., 2002** -Disruptive methods for assessing soil structure. Soil Till. Research, vol. 64, pp 3-22.

**Diehl R., 1957** - Agriculture générale, tome I: Les bases scientifiques de la productivité végétale. Edition J. Bailliere et fils. 260 p.

**Djabour D., 1984** - Contribution à l'étude du travail du sol et de deux précédents culturaux (maïs et sorgo) sur le rendement de blé tendre, Mem. Ing. Agro. INA, El Harrach, 71p.

**Don Lobb., 2003** - Semis direct : les secrets de la réussite in les pratiques de gestion optimales. Pp 1- 6. URL: [www. Gov. on. ca / omafra/French/environment/ no-till/ weed. htm](http://www.Gov.on.ca/omafra/French/environment/no-till/weed.htm).

**Dridi B., 1989** - Influence des traitements culturaux sur la porosité de deux sols limoneux à développement de profils différents. Essai de quantification à l'analyseur d'images. Thèse Doctorat F.S.A.E Gembloux. Belgique. 191p.

**Duchaufour Ph., 1965** - Précis de pédologie, 2<sup>ème</sup> édition, Masson, Paris ,481p.

**Duchaufour Ph., 1991** - Pédologie, sol, végétation, environnement, (Abrégés), 3<sup>ème</sup> édition, éd Masson, Paris ,289p.

**Duthil J., 1973** -Eléments d'écologie et d'agronomie. Tome II. Ed J. BAILLIERE, Paris VI, 265p.

**F.A.O. 2003** - La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (F.A.O.), Rome.

**Feliachi K et Perlini A, compagnes 98 -99 et 99 -00** – Amélioration et renforcement du système national d'adaptation variétale du blé dur, résultats des essais du comportement variétal, I.T.G.C, Oued Smar, 66p.

**Feliachi K., 2000** - Programme de développement de la céréaliculture en Algérie, I.T.G.C. El Harrach : Actes du premier Symposium International Sur la filière Blé 2000 : Enjeux et stratégies/ Alger 7-9 février 2000 : pp 21-27.

**Franzen R., Lal R. Ehlers W., 1993** -Tillage and mulching effects on physical properties of a tropical alfisol. Soil and tillage research.vol 28, pp 329-346.

**Gautronneau Y et H. Manichon., 1987-** guide méthodique du profil cultural. CEREF/GEARA, Lyon, 69p.

**Greenland D J., 1981** - Soil management and soil dégradation. J. Soil.Sci, vol 32, pp 301-322.

**Grignac P., 1981** - Rendement et composantes du rendement du blé d'hiver dans l'environnement méditerranéen français, les limites de potentialités de production du blé dur dans différents systèmes de cultures et des différentes zones méditerranéennes. Séminaire de Bari. Italie, pp 185-194.

**Guerif J., 1987.** Analyse de la porosité: application à l'étude du compactage des sols. In "Soil compaction and Regeneration", G. Monnier and M.J. Goss, éd, 1-13. Balkema, Rotterdam

**Harrad F., 2003** - Contribution à l'établissement d'un itinéraire technique pour la mise en place du blé dans les zones sahariennes (Adrar), effet de la succession des outils aratoires sur le développement de la plante, Thèse Magister. I.N.A. El Harrach, 98p

**Hattabi M., 1999** - Contribution à l'étude du potentiel de production de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf) dans la Mitidja, Mémoire .Ing. Agr. I.N.A. El Harrach, 76p.

**Hazmoune T., Mimouni H., Bourmel S., et Mekhlouf A., 2001** - Stabilité des performances et caractéristiques phéno-morphologiques de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf). Céréaliculture. I.T.G.C, n° 35, pp 21-27.

**HENIN S. et MONNIER G. 1956** - C.R. VI ème Congrès. Int. AISS V.B. 49 p

**Henin S., Feodoroff A., Gras R., et Monnier G., 1960** - Le profil cultural. Société d'éditions ing. Agric. Éd. Paris .320 p.

**Henin S., Gras R., Monnier G., 1969** - Le profil cultural: l'état physique du sol et ces conséquences agronomiques. Masson et Cie, Paris, 332 p.

**Hill R.L., 1990** - Long term conventional and no tillage effects on selected soil physical proprieties. Soil Sci. Soc .Am .J. vol 54, n°1, pp 161-166.

**Hill, R.L. and Cruse, R.M., 1985.** Tillage effects on soil bulk density and soil strength of two molisols. Soil Sci. Soc. Am. J. vol 18, n°1, pp 96 – 106.

**Hoogmoed W.B., 1997** -Chapitre 13 – outils de travail de sol. Archives de documents de la FAO, le travail de sol pour une agriculture durable. Cours de formation. 4 -13 Juillet 1994.Niamey, Niger. 7p .URL : [www.FAO.Org](http://www.FAO.Org).

**Hoogmoed W. B., Klaij M et Chopart J.I., 1997** – Chapitre 15 -Le travail du sol : Expérimentation et mesure des effets. Archives de documents de la FAO, le travail de sol pour une agriculture durable. Cours de formation. 4 -13 Juillet 1994.Niamey, Niger. 9p.URL : [www.FAO.Org](http://www.FAO.Org).

**I.T.G.C., 1994** - Les principales variétés de céréales cultivées en Algérie, I.T.G.C. 119p.

**I.T.G.C., 2003** - Bulletin des rendements de blé dur ; compagne 2003, Oued Smar, Alger

**I.T.G.C., 2004** - Caractéristique de la variété « Siméto » (blé dur) ,2p.

**Jamagne M., Bétrémieux R., Bégon J.C., Mori A., 1977** – Quelques données sur la variabilité dans le milieu naturel de la réserve en eau des sols. Bulletin technique d'information.pp324 - 325, 627-641.

**Joào Carlos M.S., Carlos C., Cerri Marisa C. P., Brigitte E., Feigl J.P., Allison F, Màrcia F.M., Lucien S., Serge B, Solismar P., Venzke F., Volnei P., Marcos S., 2004** – Le semis direct comme base de système de production visant la séquestration du carbone. N° 84, pp 45 – 61.

**Jastrow J.D., Miller R.M., 1997** - Soil Aggregate stabilisation and carbon sequestration: conservation and réhabilitation. Ed M. Agassi, Ch.3, pp 41- 60.

**Jongerius A., Schoonderbeek D., Jocera A., et Kowalinski S.T., 1972** - Eléctro-optical soil porosity investigation by means of quantimet équipement. Geoderma, vol. 7, n°1, pp.177-198.

**kelkouli M., 2008** - Influence de différentes techniques culturales utilisées en grandes cultures sur la rétention de l'eau en conditions semi – aride, cas du blé. Thèse Magister, I.N.A El Harrach, 147 p.

**Kemper W.D., Chepil W.S., 1966**- Size distribution of aggregates. Agronomy, vol. 9, pp 499-510.

**Kuipers H., 1974** -The objectives of soil tillage. In: Report on the expert Consultation Meeting on the Mechanization of rice Production .jointly sponsored by IITA, FAO, and the government of the Netherlands IITA, 10-14 June, 1974. Ibadan, Nigeria.

**Labreuche J., Couture D., Bodet J.M., 2005** - Essai travail du sol longue durée de Boigneville : 35 ans d'enseignements. Editions ARVALIS, Institut du végétal. 4p. URL: [www.editions.arvalis.fr](http://www.editions.arvalis.fr).

**Lamande M., Hallaire V., Curmi P., Peres G. and Cluzeau D., 2003**- Changes of pore morphology, infiltration and earthworm community in a loamy soil under different agricultural managements. Catena, vol. 54, n° 3, pp 637-649.

**Le Bissonnais Y., 1996 a** - Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility I: Theory and methodology. Eur. J. Soil. Sci, vol. 47, pp 425-437.

**Le Bissonnais Y., 1996 b** - Soil Characteristics and Aggregate Stability. In Soil Erosion, feedbacks through organomineral associations. Soil processes and the carbon cycle, Eds by R., Lal, J.M., Kimble, R.F., Follett and B.A., Stewart, Ch. 15, pp 207 -223.

**Le Bissonnais Y., Le Souder C., 1995** – Mesure de la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité à la battance et à l'érosion. Etudes et gestion des sols, vol. 2, 43p.

**Le Bissonnais Y., Arrouays D., 1997**- Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility. II. Application to humic loamy soils with various organic carbon contents. Eur. J. Soil. Sci, 48: 39-48.

**Le Bissonnais Y., Cros-Cayot, S., Gascuel-Oudou, C., 2002** - Topographic dependence of aggregate stability, overland flow and sediment transport. Agronomie, vol. 22, pp 489-501.

**Lindstrom M. J., F. E Kochler and R.I Papendick., 1974** - Tillage effects on fallow water storage in the eastern Washington dryland region. Aragon J, vol 66, pp 312-316.

**Lynch J.M., Bragg E, 1985** - Microorganisms and soil aggregate stability. Advances in Soil Science, vol. 2, pp 133 – 171.

**M'hedhbi K., Yahyaoui A., Rezgui S., 1995** - Effet du travail du sol et de la date de semis sur le rendement du blé cultivé en sec, Ecole supérieure d'agriculture du Kef, Tunisie, vol 10, n° 2 pp 41-64.

**Maertens C., 1964** - Influence des propriétés physiques des sols sur le développement racinaire et conséquences sur l'alimentation hydrique et azotée des cultures. Science de sol, vol 2, pp 31-41.

**Manichon H., 1977.** Structure du sol et profil cultural : Répercussions sur le rendement des cultures, modifications sous l'action du climat et des outils. I.N.A. Paris. 121p.

**Manichon H., 1982** - L'action des outils sur le sol. Appréciation de leurs effets par la méthode du profil cultural. Science du sol vol 3 : pp 203-219.

**Manichon H., 1982** - Influence des systèmes de culture sur le profil cultural: élaboration d'une méthode de diagnostic basée sur l'observation morphologique. Thèse de docteur-ingénieur de l'INAPG: 232 p.

**Manichon H et J.R Estrade, 1990** – Caractérisation de l'état structural et étude de son évolution à court et moyen terme sous l'action des systèmes de culture : In : les systèmes de culture, L. Combe, D. picard (Eds). INRA, Paris, pp. 27-55.

**Mc Garry D., Bridge B J., Rodford B., 2000** - Contrasting soil physical properties after zero and traditional tillage of an alluvial soil in the semi-arid tropics. Soil and tillage research. Vol. 53, pp 105-115.

**Michiel C et Klaij M., 1997** -Chapitre 2- Objectif du travail du sol. Archives des documents de la FAO, le travail du sol pour une agriculture durable. Cours de formation. 4 -13 Juillet 1994 Niamey, Niger 4p.

**Monnier G., Stengel P., et Fies J.C. 1973** - Une méthode de mesure de la densité apparente de petits agglomérats terreux: application à l'analyse des systèmes de porosité du sol. Ann. Agro, vol. 24, n° 5, pp 533-546.

**Morvan T., Péan L., Robin P., 2004** - Evaluation de l'intérêt du fractionnement de la matière organique d'effluents porcins pour en caractériser la biodégradation et la valeur fertilisante azotée. Journées de la Recherche Porcine, 36, 6p

**Moulay L., 2000** – Caractérisation de l'érosivité du bassin versant des hauts plateaux constantinois. Thèse magister. I.N.A. EL Harrach, 57p.

**Mrabet R et Bourarach E.H., 2001** - Le semis- direct une technologie avancée pour une agriculture durable au Maroc. Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA: transfert de technologie en agriculture : N° 76, 4p.

**Musy A., Soutter M., 1991**- Physique du sol. Ed Presses polytechniques et Universitaires Romandes. Suisse: 335P.

**Mutin G., 1977** – la Mitidja, décomposition et espèce géographique, Paris, CNRS, 607p

**Newhall F., 1972** – Calculation of Soil moisture regimes from climatic records. Rev. 4 Soil conservation Service, U.S.D.A Washington DC.

**Nicou R., 1971** - Rapport d'activité de la division de physique du sol. Bulletin. Agron., IRAT, 39p.

**Nicou R., 1977** – Le travail du sol dans les terres exondées du Sénégal. Motivations, contraintes. Doc. Mult ISRA CNRA, Bambey, Sénégal.52p.

**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.

**Norton L.D., S.L, Schroeder., 1985** - Les effets de diverses techniques culturales sur la porosité et l'érosion. Congrès international de micromorphologie. Résumés. Paris.92p.

**Oades J.M., 1984**- Soil organic matter and structural stability mechanisms and implications for management. Plant & Soil, vol. 76, pp 319-337.

**Pagliai M.; La Marca M. et Lucamante G., 1983** -Micromorphometric and micromorphological investigations of a clay loam soil in viticulture under zero and conventional tillage. J. Soil Sci. Vol. 34, pp 391-403.

**Pagliai, M., 1985** - Effet de diverses méthodes de gestion du sol sur la structure du sol et la formation des croûtes de surface. Congrès international de micromorphologie. Résumés. I.N.A. Paris. pp. 90.

**Pidgem J.D et Soane B.D., 1977** - Effects of tillage and direct drilling on soil properties during the growing season in a long-term barley monoculture system. J. Agric. Sci. 88: 431-442.

**PNTTA., 2001** - Le semis- direct une technologie avancée pour une agriculture durable au Maroc., bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA.MADREF/DERD n°76. 4 p.

**Poirée M et Ollier Ch., 1971** -Les réseaux d'irrigation : Théorie, technique et économie des arrosages, Paris. 454p.

**Recous S., 1994** - Réponse des matières organiques des sols aux changements atmosphérique globaux II. Effet de la température sur la minéralisation d'un résidu végétal (maïs) et de la matière organique des sols. Séminaire écosystèmes et changements globaux, Douarda. Pp 81-85.

**Richards L.A., 1954** – Parous plate apparatus for moisturing moisture and transmission by soil. Soil sci. Vol 66, pp 105-110.

**Richard G, J.F., Sillon, I. Cousin, A. Bruand. 2004** – Le travail du sol, structure et fonctionnement hydrique du sol en régime d'évaporation ; Etude et gestion des sols, vol 11, n°1 pp 59 -68.

**Roger-Estrade J., Richard G., Caneill J., Boizard H., Coquet, Y., Defossez P. and Manichon, H., 2004.** Morphological characterisation of soil structure in tilled fields: from a diagnosis method to the modelling of structural changes over time. Soil Tillage Res., 79(1): 33-49.

**Sebillotte M., 1968** - Stabilité structurale et bilan hydrique du sol. Influence du climat et de la culture. Ann. Agron. 19, 403-414.

**Soltner D., 2000** – les bases de la production végétale, tome I. le sol et son amélioration, 22<sup>ème</sup> édition. Col. Science et techniques agricoles, 472p.

**Stengel, P., 1976** - Incidence de la simplification du travail du sol sur la porosité de la couche arable .éd. Institut technique de céréales et fourrages pp.134-149.

**Stengel P., 1979-** Utilisation de l'analyse des systèmes de porosité pour la caractérisation de l'état physique du sol in situ. Ann. Agron, 30 : 27-49.

**Stengel P., 1987** – Etude expérimentale de la fissuration au cours du dessèchement et de l'humectation. In : Les phénomènes de transferts dans les milieux poreux déformables, INRA : 161-183.

**Stengel P., 1990** - Caractérisation de l'état structural du sol. Objectifs et méthodes, La structure du sol et son évolution: conséquences agronomiques, maîtrise par l'agriculteur. Les colloques de l'INRA, n° 53, pp 15-36.

**Tessier D., Bruand A., Le Bissonais Y., Dambrine E., 1996** - Qualité chimique et physique des sols. Variabilité spatiale et évolution. Etude et Gestion des Sols. Vol 3, n°4, pp 229-244.

**Trochard R., Lajoux P., Barthélemy P., Boigontier D., Gillet J.P et Costes J.L., 1994** - Travail du sol ; réussir l'implantation, I.T.C.F. Perspectives agricoles, France, n° 194.

**U.S.D.A., 1994** - Keys of soil Taxonomy. Ed: Cornell University, 347p.

**Verdier J.L., 1990** - Travail du sol, mauvaises herbes et désherbage, Phytoma, n° 414, pp

**Vullioud P et Mercier E., 2004** - Résultats de 34 ans de culture sans labour à Changins. I. Evolution des rendements = Results of a 34-year ploughless tillage experiment at Changins (1970-2003). Revue Suisse d'agriculture, vol 36, n°5, pp. 201-212.

**Zaamoum A., 2004** - Contribution à l'étude de la tache bronzée du blé (Helminthosporiose) : Détection de l'agent pathogène et étude du comportement de 24 variétés à l'égard de Pyrenophora tritici-repentis, Mémoire Ing .Agro.INA El Harrach. 96p.

**Zaghouane O., 2000** – « Réflexion sur le programme de conversion : le contexte actuel et les perspectives de relance de l'agriculture ». Céréaliculture n° 34, pp. 7-13.

## ANNEXES

### Annexe I : Résultats des calculs des propriétés physiques et hydriques

#### Annexe N° 01 : Donnée Climatiques - Station ONM DAR EL BEIDA 1952- 2004

Année	T (°C)	HR (%)	INS (h)	Vv (m /s)	Pluie (mm)	Eto (mm)	Rg (j/cm <sup>2</sup> )
1952	18,4	58,6	7,0	3,5	630,6	1535,0	1594,2
1953	17,5	58,4	7,5	3,1	630,5	1460,7	1676,7
1954	17,3	59,6	7,7	3,1	706,1	1464,6	1719,9
1955	18,6	58,9	7,6	3,1	624,6	1487,6	1677,3
1956	16,6	58,7	7,8	3,6	679,8	1500,8	1719,6
1957	16,8	57,0	7,8	3,6	1086,7	1495,1	1718,0
1958	17,7	74,8	8,1	3,4	764,2	1339,8	1761,6
1959	17,5	75,9	7,8	3,2	802,2	1281,0	1713,0
1960	17,4	76,2	7,9	3,2	776,7	1276,1	1733,4
1961	17,9	75,6	8,5	3,0	480,9	1318,9	1828,9
1962	17,2	77,5	7,7	2,7	843,6	1213,1	1701,9
1963	17,3	77,1	7,7	3,2	648,9	1241,7	1707,0
1964	17,2	77,2	8,5	2,8	673,1	1274,2	1820,9
1965	17,3	73,7	8,1	3,0	553,9	1308,8	1770,4
1966	17,8	75,8	8,2	2,9	585,4	1267,1	1769,2
1967	17,7	73,9	7,9	3,0	763,0	1311,6	1734,4
1968	17,4	72,4	8,4	3,2	582,6	1369,2	1817,9
1969	16,9	76,3	7,1	3,5	1006,4	1247,7	1627,3
1970	17,3	70,5	7,9	3,3	722,1	1339,4	1728,9
1971	16,9	72,0	7,5	3,4	711,0	1324,8	1672,5
1972	16,4	77,4	6,9	3,6	1031,3	1176,9	1579,2
1973	16,4	77,0	7,3	3,1	1169,2	1176,1	1645,2
1974	16,4	75,6	7,8	3,1	782,5	1227,2	1712,4
1975	16,6	74,9	7,8	3,1	711,0	1243,0	1706,6
1976	16,5	76,4	7,4	3,4	761,9	1228,3	1650,8
1977	17,0	74,2	7,7	3,1	496,4	1245,8	1697,9
1978	16,5	74,4	7,7	3,2	717,5	1245,7	1697,1
1979	16,9	75,6	7,0	3,4	797,8	1230,2	1600,6
1980	16,6	75,0	7,8	3,4	729,6	1280,6	1719,5
1981	17,1	74,5	7,7	3,5	434,2	1277,9	1688,2
1982	17,3	75,0	6,9	3,4	873,2	1260,0	1570,2
1983	17,4	72,0	7,7	3,1	332,8	1304,5	1690,0
1984	16,7	74,0	7,2	3,6	884,4	1280,8	1623,5
1985	17,6	74,2	7,3	3,2	706,8	1271,3	1642,9
1986	17,6	73,5	7,6	3,4	697,1	1323,5	1681,1
1987	17,4	72,0	7,7	3,1	332,8	1295,9	1690,0
1988	16,7	74,1	7,2	3,6	884,4	1266,8	1623,5
1989	17,6	74,2	7,3	3,2	706,8	1262,6	1642,9

1990	17,5	73,8	7,6	3,4	746,4	1302,4	1683,9
1991	17,1	74,2	7,8	2,8	431,1	1250,9	1710,3
1992	17,0	77,3	7,8	2,5	755,8	1175,6	1701,5
1993	17,1	77,1	7,8	2,6	489,8	1210,9	1710,6
1994	18,3	74,7	8,5	2,6	456,8	1324,4	1817,5
1995	18,0	73,3	8,2	2,2	551,7	1256,0	1772,3
1996	17,6	71,3	7,6	2,4	801,8	1223,7	1682,4
1997	18,4	68,8	7,9	2,1	546,6	1265,4	1725,7
1998	17,7	69,9	8,0	1,9	609,3	1207,2	1732,8
1999	18,6	68,3	5,5	1,4	811,3	1070,4	1373,0
2000	17,8	73,0	8,4	2,8	280,9	1323,4	1791,1
2001	18,1	75,0	8,2	2,8	488,6	1315,8	1772,8
2002	18,1	71,6	7,8	2,6	475,4	1262,7	1703,0
2003	18,7	72,4	7,1	2,7	732,0	1285,8	1616,3
2004	17,6	73,5	7,4	2,3	645,5	1174,5	1641,6
<b>Moyenne</b>	<b>17,4</b>	<b>72,4</b>	<b>7,7</b>	<b>3,0</b>	<b>682,0</b>	<b>1288,7</b>	<b>1694,2</b>
<b>Min</b>	<b>16,4</b>	<b>57,0</b>	<b>5,5</b>	<b>1,4</b>	<b>280,9</b>	<b>1070,4</b>	<b>1373,0</b>
<b>Max</b>	<b>18,7</b>	<b>77,5</b>	<b>8,5</b>	<b>3,6</b>	<b>1169,2</b>	<b>1535,0</b>	<b>1828,9</b>
<b>Ecart type</b>	<b>0,6</b>	<b>5,4</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>183,5</b>	<b>89,5</b>	<b>75,7</b>
<b>CV (%)</b>	<b>3,5</b>	<b>7,5</b>	<b>6,6</b>	<b>15,5</b>	<b>26,9</b>	<b>6,9</b>	<b>4,5</b>

## Annexe II : Résultats des calculs des propriétés physiques et hydriques

La densité apparente des agrégats centimétriques et la porosité totale des horizons des trois traitements

Traitements	T1				T2				T3		
Profils	Profil1				Profil2				Profil3		
Horizons	H0	H5	H6	H7	H0	H1	H2 à H5	H6 à H7	H0	H1 à H4	H5
Epaisseur (cm)	1	5,5	6,5	6	1	1,5	16	9	1	3	12
Densité apparente	1,14	1,47	1,1	1,15	1,09	1,15	1,21	1,16	1,18	1,36	1,08
Porosité totale mesurée (%)	48,1	76,44	35	40,3	41	47,2	37,5	37,2	48,7	58,5	35
Types et % d'agrégats		80% Φ 20% Γ	100% Φ	100% Δ		100% Γ	80% Δ 20% Φ	100% Δ		100% Γ	100% Δ

La réserve utile et la réserve facilement utilisable des trois traitements

Traitements	T1				T2				T3			
Profils	P1				P2				P3			
Horizons	H0	H5	H6	H7	H0	H1	H2 à H5	H6 à H7	H0	H1 à H4	H5	
Hcr (%)	19,1	17,7	16	14,9	15	15,4	14,6	14,8	17,3	16,1	16	
Hpfp (%)	11,3	12,1	12,9	11,6	10,4	12,8	13,7	13,4	11,2	11,3	14,8	
Eau utile (%)	7,8	5,6	3,1	3,3	4,6	2,6	0,9	1,4	6,1	4,8	1,2	
Densité apparente	1,14	1,47	1,1	1,15	1,09	1,15	1,21	1,16	1,18	1,36	1,08	
Epaisseur des horizons (cm)	1	5,5	6,5	6	1	1,5	16	9	1	3	12	
Ru	(mm eau)	0,9	4,5	2,2	2,3	0,5	0,45	1,74	1,5	0,72	1,96	0,52
	M3/ha	9	45	22	23	5	45	17,5	15	7,2	19,6	5,2
RFu	(mm eau)	0,45	2,3	1,1	1,2	0,25	0,23	0,87	0,73	0,36	0,98	0,26
	M3/ha	4,5	23	11	12	2,5	2,3	8,7	7,3	3,6	9,8	2,6

La stabilité structurale des trois traitements

Traitements	Is	Log 10Is
T1	42,5	2,63
T2	51,6	2,71
T3	44	2,64

Les teneurs en eau (%) des différents traitements à différents pF

Traitements	T1				T2				T3		
Horizons pF	H0	H5	H6	H7	H0	H1	H2 à H5	H6 à H7	H0	H1 à H4	H5
<b>0</b>	37	35,4	28,8	30,5	34,5	35,6	26,3	27,4	35	31,5	30
<b>1</b>	31,3	30	26,2	28,5	27,5	30,2	23,4	24	25	26	28
<b>1,6</b>	27,6	25,4	24,2	26,7	24,2	26,7	22,3	23,2	22,1	23	23
<b>1,9</b>	23,5	20,3	19,2	19,6	21,5	21,5	20,1	19	21	21,6	19,8
<b>2,5</b>	19,7	19	17	16,8	17	16,7	16,4	15,3	18,2	19,8	16,7
<b>2,7</b>	19,1	17,7	16	14,9	15	15,4	14,6	14,8	17,3	16,1	16
<b>3</b>	16,7	15	14,3	14,5	12,3	14,1	14,2	14,3	13	12,7	15,7
<b>3,5</b>	12,8	12,6	14	13,2	11,8	13,2	13,8	13,9	11,7	12,2	15,2
<b>4,2</b>	11,3	12,1	12,9	11,6	10,4	12,8	13,7	13,4	11,2	11,3	14,8

La distribution de la porosité en catégorie de pores (%).

Catégories de pores		Macropores		Mésopores	Micropores	
Diamètre équivalent des pores ( $\mu\text{m}$ )		>76,5	76,5 – 38,25	38,25 – 6,02	6,02 - 0,2	<0,2
Fonctionnement hydrique		Drainage rapide	Drainage lent	Diffusion de l'eau	utile	inaccessible
<b>(%) de pores de T1</b>						
Horizons	H0	25,4	11,1	11,92	13,54	30,5
	H5	28,6	14,4	7,7	11,7	33,3
	H6	16	17,4	11,1	14,6	45,5
	H7	12,6	23,3	15,4	21,6	37,6
<b>(%) de pores de T2</b>						
Horizons	H0	29,6	8	19,1	25,1	21,5
	H1	25,2	14,6	17,2	20,9	35,4
	H2 à H5	15,2	8,4	21,1	28,1	59
	H6 à H7	15,4	15,3	15,3	17,1	49
<b>(%) de pores de T3</b>						
Horizons	H0	36,9	3,1	11	14	28
	H1 à H4	27	4,4	18	30	35
	H5	23,6	11	12,8	15,2	48,2

La distribution de la porosité en huit classes de pores (%)

Classe de pores		1	2	3	4	5	6	7	8
Diamètre équivalent de pores (µm)		>76,5	76,5-38,25	38,25-9,27	9,27-6,02	6,02-3,06	3,06-0,87	0,87-0,2	<0,2
h (hPa)		40	80	330	510	1000	3500	16000	
pF		1,6	1,9	2,5	2,7	3	3,5	4,2	
(%) de pores de T1									
Horizons	H0	25,4	11,1	10,3	1,62	6,5	10,6	4	30,5
	H5	28,6	14,4	3,7	4	7,6	7	1,4	33,3
	H6	16	17,4	7,6	3,5	6	1	4	45,5
	H7	12,6	23,3	9,2	6,2	1,3	4,3	5,5	37,6
(%) de pores de T2									
Horizons	H0	29,6	8	13,1	6	8	9,3	4,1	21,5
	H1	25,2	14,6	13,5	3,7	3,8	2,6	1,2	35,4
	H2 à H5	15,2	8,4	14,1	7	1,5	1,5	0,4	59
	H6 à H7	15,4	15,3	13,5	1,8	1,8	1,5	1,8	49
(%) de pores de T3									
Horizons	H0	37	3,1	8	3	16	3,7	1,4	28
	H1 à H4	27	4,4	6	12	11	1,6	2,9	35
	H5	23,6	11	10,4	2,4	1	2	1,4	48,2

Les teneurs en eau volumiques aux les différents stades phénologiques du végétal

Traitement	P (cm)	03/12/2003	03/02/2004	14/03/2004	20/04/2004	05/05/2004	22/05/2004	13/06/2004
		Avant le semi	Début montaison	Début épiaison	Floraison	Grain pâteux	Maturation	Avant récolte
P1H1	0-20	21,8	21,3	26,4	9,1	21,3	20,4	22,4
P1H2	20-35	20,5	21,4	22,7	24,1	23,3	21,8	24
P1H3	35-55	19,2	24,6	25,9	23,7	23,8	27,5	22,5
P1H4	55-70	20	23,4	26,4	22,7	25	23,2	27,5
P1H5	70-90	19	28,3	29,3	20,5	25	25	27,9
P2H1	0-20	18,4	16,4	22,7	22	16,9	15,9	17
P2H2	20-35	19,4	22,6	19,3	21,7	18,1	18,7	18,8
P2H3	35-55	17,2	17,9	20,6	19,1	17,7	17,3	21,3
P2H4	55-70	17	16,6	21,7	16,6	19,1	13,8	23,2
P2H5	70-90	16	24	20,2	19,1	14,9	16	22,8
P3H1	0-20	17	16,4	23	18,8	14,4	15,1	15,8
P3H2	20-35	14,8	13,5	21,2	16,1	12,2	17,6	19,5
P3H3	35-55	16,2	16,5	24	15,4	13,2	15,4	17,2
P3H4	55-70	14,5	13,3	14,8	13,2	11,4	13,8	18,2
P3H5	70-90	15,2	13,7	26,8	16,8	13	15,2	22,7

## Annexe III : Résultats des calculs des composants du rendements

Poids de la matière sèche (g/m<sup>2</sup>)

<b>Répétitions</b> <b>Traitements</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>Moy</b>	<b>E.T</b>
<b>T1</b>	442	1130	920	305	699,25	389,8
<b>T2</b>	455	752	575	390	543	159
<b>T3</b>	740	980	1050	525	823,75	239,35

Nombres d'épi /m<sup>2</sup> (N épis /m<sup>2</sup>)

<b>Répétitions</b> <b>Traitements</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>Moy</b>	<b>E.T</b>
<b>T1</b>	180	286	418	170	263,5	115,6
<b>T2</b>	162	284	247	267	231	46,9
<b>T3</b>	88	238	398	190	228,5	129,15

Nombres de plants /m<sup>2</sup> (N plants /m<sup>2</sup>)

<b>Répétitions</b> <b>Traitements</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>Moy</b>	<b>E.T</b>
<b>T1</b>	48	88	142	51	82,25	43,79
<b>T2</b>	61	82	73	122	84,5	26,5
<b>T3</b>	75	68	154	61	89,5	43,38

Nombres de grains/épi (Moyenne dix échantillons)

<b>Répétitions</b> <b>Traitements</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>Moy</b>	<b>E.T</b>
<b>T1</b>	36,1	45,2	49,2	31,1	40,4	8,27
<b>T2</b>	43,3	58,5	52,9	54,2	52,22	6,41
<b>T3</b>	22,6	44,2	40,6	47,6	38,75	11,14

Hauteur des plants (cm) (Moyenne dix échantillons)

<b>Répétitions</b> <b>Traitements</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>Moy</b>	<b>E.T</b>
<b>T1</b>	63,7	66,2	69,9	68	66,975	2,68
<b>T2</b>	70,5	64,6	71,6	70,6	69,45	3,26
<b>T3</b>	64,7	64,5	66,5	69,7	67,02	2,15

Longueur de l'épi (cm) (Moyenne dix échantillons)

<b>Répétitions</b> <b>Traitements</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>Moy</b>	<b>E.T</b>
<b>T1</b>	6,9	6,2	6,5	5,9	6,37	0,42
<b>T2</b>	6,7	7,1	6,7	6,8	6,85	0,24
<b>T3</b>	6,1	6,0	6,5	6,6	6,27	0,32

Hauteur de la barbe (cm) (Moyenne dix échantillons)

<b>Répétitions</b> <b>Traitements</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>Moy</b>	<b>E.T</b>
<b>T1</b>	14,5	14,7	13,6	14,1	14,2	0,49
<b>T2</b>	15,7	13,9	14,7	14	14,475	0,94
<b>T3</b>	12	12,2	13,6	15,8	13,4	1,75

Poids de 1000 grain (g)

<b>Répétitions</b> <b>Traitements</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>Moy</b>	<b>E.T</b>
<b>T1</b>	72,1	62,0	45,0	48,0	56,775	12,62
<b>T2</b>	70,4	67,4	66,8	70,7	68,825	2,01
<b>T3</b>	58,7	62,3	59,6	76,2	64,2	8,14

Nombre d'épi stérile (Moyenne dix échantillons)

<b>Répétitions</b> <b>Traitements</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>Moy</b>	<b>E.T</b>
<b>T1</b>	3,2	4,2	2,4	2,9	3,175	0,76
<b>T2</b>	1,9	2,3	2,8	2,7	2,425	0,41
<b>T3</b>	2,4	3,0	1,9	2,2	2,375	0,46

Humidité du grain (%)

<b>Répétitions</b> <b>Traitements</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>Moy</b>	<b>E.T</b>
<b>T1</b>	2,8	3,1	3,2	3,5	3,15	0,29
<b>T2</b>	2,9	3,0	2,8	3,5	3,05	0,31
<b>T3</b>	2,7	3,0	3,0	2,9	2,9	0,14

Rendement en grains (qx/ha)

<b>Répétitions</b> <b>Traitements</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>Moy</b>	<b>E.T</b>
<b>T1</b>	46,9	80,1	92,5	25,4	61,225	30,67
<b>T2</b>	49,4	112	87,3	102,3	87,75	27,5
<b>T3</b>	11,6	65,6	96,3	69	60,625	35,45