

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
المدرسة الوطنية العليا للعلوم الفلاحية  
الحراش-الجزائر  
Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie  
El Harrach – Alger



## Thèse

En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en  
**Science de l'eau et agroéquipements**

## Thème

**Problématique de l'introduction du semis direct en Algérie :  
Analyse agronomique et énergétique**

Présenté par : **YACHI Abdelouahid**

Devant le jury :

Président : **MOHAMMEDI Zekari** (Maitre de conférences « A », ENSA El Harrach)

Directeur de thèse : **FEDDAL Mohamed Amine** (Maitre de conférences « A », ENSA El Harrach)

Examineurs :

**RAHMOUNE Bilal** (Maitre de conférences « A », Université Ibn Khaldoune-Tiaret)

**BERRAYAH Mohammed** (Maitre de conférences « A » Université Ibn Khaldoune-Tiaret)

Année universitaire : 2021/2022

# Table de matière

**Remerciement**

**Dédicaces**

**Résumé**

**Liste des abréviations**

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**Introduction générale**..... 01

## **Chapitre I : Place de la céréaliculture dans le monde et en Algérie**

I. 1. Introduction..... 07

I. 2. Origine et histoire..... 07

I. 3. Les céréales dans le monde..... 08

I. 4. Situation de la céréaliculture en Algérie..... 10

I. 4. 1. Evolution des surfaces réservées aux céréales en Algérie..... 11

I. 4. 2. La production des céréales en Algérie..... 13

I. 5. Conclusion..... 15

## **Chapitre II : Présentation des différentes techniques de travail du sol utilisées pour la mise en place des céréales**

II. 1. Introduction..... 17

II. 2. Travail conventionnel..... 17

II. 2. 1. Matériels utilisés..... 18

II. 2. 2. Le mode d'action des outils aratoires de la méthode conventionnelle..... 18

II. 3. La technique de conservation..... 20

II. 3. 1. Travail du sol sans labour (Travail minimum)..... 21

II. 3. 1. 1. Matériels utilisés..... 21

II. 3. 2. Semis direct..... 21

II. 3. 2. 1. Matériels utilisés..... 22

II. 4. Conclusion ..... 23

## **Chapitre III : Les effets pédologiques, agronomiques et économiques des différentes techniques de préparation du sol**

III. 1. Introduction..... 24

III. 2. Effet sur les résidus de la culture précédente..... 24

III. 3. Effet sur la structure du sol..... 25

III. 4. Tassement du sol..... 25

III. 5. Effet des techniques de travail du sol sur les micro-organismes.....	28
III. 6. Effet sur la pression des mauvaises herbes.....	29
III. 7. Effet sur la germination et la levée des céréales.....	30
III. 8. Effet sur les racines.....	31
III. 9. Effet sur les rendements.....	32
III. 10. Effet de la qualité de l'eau.....	34
III. 11. L'émission de gaz à effet de serre.....	35
III. 12. Analyse des besoins en énergie.....	36
III. 12. 1. La consommation de l'énergie par travail du sol.....	37
III. 12. 2. Analyse comparée de la consommation en carburant des différentes techniques.....	37
III. 13. Conclusion.....	40
<b>Introduction et objectifs de l'expérimentation.....</b>	<b>42</b>
<b>Chapitre IV – Réflexion sur le développement des techniques culturales sur la croissance et le développement du blé dur (<i>Triticum durum</i>).</b>	
VI. 1. Introduction.....	45
VI. 2. Objectif.....	47
VI. 3. Le site expérimental.....	47
V. 3. 1. Texture du sol.....	47
V. 3. 2. Conditions climatiques de la campagne 2017-2018.....	47
VI. 4. Dispositif expérimental.....	48
VI. 4. 1. Premier facteur étudié : la technique culturale.....	49
VI. 4. 2. Le deuxième facteur étudié : la dose de semis.....	50
VI. 4. 3. La fertilisation appliquée.....	50
VI. 4. 4. Matériel végétal.....	51
VI. 4. 5. Matériel de travail.....	51
VI. 5. Méthodologie.....	52
VI. 5. 1. Méthodologie des mesures des paramètres liés au sol.....	52
VI. 5. 2. Méthodologie des mesures liées à la culture.....	53
VI. 6. Matériels de mesure.....	53
VI. 6. 1. Pour la détermination des paramètres liés au sol.....	53
VI. 6. 2. Détermination des paramètres liés à la culture.....	54
VI. 7. Résultats et Discussion.....	54
VI. 7. 1. Effet des techniques culturales sur l'état structural du sol.....	54

VI. 7. 1. 1. Effet sur l'humidité.....	54
VI. 7. 1. 2. Effet sur la résistance à la pénétration.....	55
VI. 2. Effet des techniques sur le développement de la culture.....	55
VI. 7. 2. 1. Levée de la culture.....	56
VI. 7. 2. 2. Effet sur le développement des racines.....	57
VI. 7. 2. 2. 1. Effet sur le diamètre des racines.....	59
VI. 7. 2. 2. 2. Longueur de la racine.....	60
VI. 7. 2. 3. Effet des techniques sur le rendement.....	61
VI. 8. Analyse statistiques des résultats.....	62
VI. 9. Conclusion.....	62

**Chapitre V – Influence de deux techniques culturales sur la croissance et le développement du Bersim (*Trifolium Alexandrinum*).**

V. 1. Introduction.....	64
V. 2. Objectif.....	65
V. 3. Le site expérimental et la nature de sol.....	66
V. 3. 1. Conditions climatiques de la campagne 2018-2019.....	66
VI. 4. Dispositif expérimental.....	66
V. 4. 1. Premier facteur : la technique culturale.....	67
V. 4. 2. Le deuxième facteur : la dose de semis.....	67
V. 4. 3. La fertilisation appliquée.....	68
V. 4. 4. Matériel végétal.....	68
V. 4. 5. Matériel de travail.....	68
V. 5. Méthodologie.....	70
V. 5. 1. Méthodologie des mesures des paramètres liés au sol.....	70
V. 5. 2. Méthodologie des mesures liées à la culture.....	70
V. 6. Matériels de mesure.....	71
V. 6. 1. Pour la détermination des paramètres liés au sol.....	71
V. 6. 2. Pour la détermination des paramètres liés à la culture.....	71
V. 7. Résultats et Discussion.....	72
V. 7. 1. Effet des techniques culturales sur l'état structural du sol.....	72
V. 7. 1. 1. Effet sur l'humidité.....	72
V. 7. 1. 2. Effet sur la résistance à la pénétration.....	73
V. 7. 2. Effet des techniques sur le développement de la culture.....	73
V. 7. 2. 1. Levée de la culture.....	74

V. 7. 2. 2. Effet des techniques sur la densité racinaire.....	75
V. 7. 2. 3. Effet sur la densité des nodules.....	77
V. 7. 2. 4. Effet sur l'infestation en adventices.....	78
V. 7. 2. 5. Rendement du Bersim.....	80
V. 7. 2. 6. Effet sur le rapport MS/MV.....	80
V. 8. Conclusion.....	81

## **Chapitre VI – Analyse énergétique**

VI. 1. Introduction.....	84
VI. 2. Cadre général de l'étude.....	85
VI. 3. Présentation de la zone étude.....	85
VI. 3. 1. Caractéristiques agro-pédologiques.....	86
VI. 3. 2. Caractéristiques climatiques.....	87
VI. 3. 3. Les exploitations agricoles étudiées.....	88
VI. 4. Méthodologie.....	89
VI. 5. Analyse des résultats d'enquête.....	90
VI. 5. 1. Age et expérience des agriculteurs.....	90
VI. 5. 2. Statut juridique.....	91
VI. 5. 3. Taille des exploitations agricoles.....	91
VI. 5. 5. Mécanisation dans les exploitations.....	92
VI. 5. 5. 1. Pour les exploitations agricoles ayant adopté le travail conventionnel.....	92
VI. 5. 5. 2. Pour les exploitations agricoles ayant adopté le semis direct.....	97
VI. 6. Analyse de la consommation énergétique pour la production céréalière à Sétif....	100
VI. 6. 1. Pour les exploitations agricoles ayant adopté le travail conventionnel.....	100
VI. 6. 2. Pour les exploitations agricoles ayant adopté le semis direct.....	108
VI. 7. Analyse comparée de la consommation en temps et en carburant des différentes étapes de l'itinéraire technique pour la production de 01 ha de céréales à Sétif.....	111
VI. 7. Analyse des rendements céréaliers dans les exploitations agricoles étudiées.....	113
VI. 7. 2. Analyse des rendements céréaliers.....	115
Conclusion générale.....	118
Références bibliographiques.....	122

## Remerciement

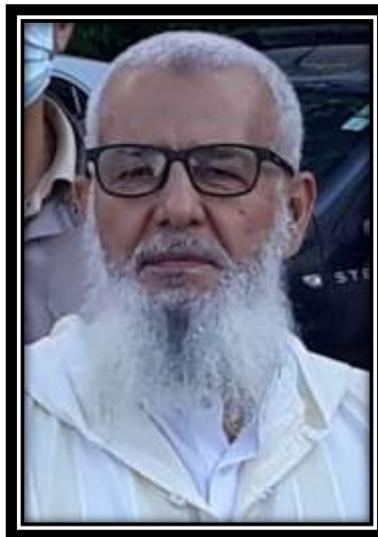
Tout d'abord je tiens à remercier **ALLAH**, le tout puissant de m'avoir donné la santé, la patience et la volonté pour pouvoir réaliser ce travail de recherche.

Avec une grande tristesse, le destin voulait que nous perdions notre inspirateur, professeur et modèle, **M. AMARA Mahfoud** (رحمة الله عليه)

J'ai eu la chance d'avoir effectué six ans de recherche et de formation scientifique (ingénierat, master et doctorat) sous sa direction.

Avant de devenir encadreur, il était mon deuxième père.

Il n'y a pas assez de mots pour le remercier pour tout ce qu'il nous a donné dans notre formation.



ان لله وان اليه راجعون

**-Paix à son âme -**

Je veux exprimer ma profonde gratitude à **M. FEDDAL Mohamed Amine**, mon nouveau directeur de thèse. Je le remercie pour son encouragement continu ce qui m'a donné la force et le courage d'accomplir ce travail, ainsi de m'avoir guidé vers le bon chemin à travers la transmission de son savoir et ses conseils précieux qui vont droit au cœur.

Je tiens à remercier également M. **MOHAMMEDI Zekari** d'avoir accepté de présider ce jury. A M. **BERRABAH Mohammed** et M. **RAHMOUNE Bilal** d'avoir accepté d'examiner ce travail.

A M. **BOUHOUCHE Mustapha** le directeur, et toute l'équipe de l'ITGC de Oued-Smar. Je souhaite également remercier tous les **enseignants de la section Machinisme agricole et agroéquipement** ayant assuré ma formation.

## **Dédicaces**

A la mémoire de mon père

A ma mère

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon affection, ma reconnaissance, ma gratitude et mon respect le plus profonds...

A ma sœur Asma

A mes oncles, mes tantes, mes cousins et mes cousines.

A tous mes enseignants qui ont contribué à ma formation.

A tous mes amis(es), surtout l'MSN Smaïn, Nadhir et Mounira.

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

A tous ceux qui me sont chers.

**Abdelouahid**

## Résumé

L'objectif de notre étude repose sur une analyse agronomique des effets de deux techniques culturales, le travail conventionnel et le semis direct sur le comportement du sol et l'impact de ce dernier sur l'enracinement et la production d'un blé dur (variété Siméto), suivi par une légumineuse fourragère, le bersim (variété Tigri), une rotation adoptée par l'institut technique des grandes cultures d'oued-smar depuis l'année 2004. Ce travail repose aussi sur une analyse énergétique de la mise en œuvre des techniques culturales classique et simplifiées pour des exploitations agricoles actives en céréaliculture, le but est de comparer entre le temps de chantier nécessaire et le volume du carburant consommé par les deux techniques, classique et moderne (TC et SD), cette comparaison touche toutes les opérations culturales pratiquée (hors récolte) au niveau de 25 exploitations agricoles situées à la wilaya de Sétif.

Ce qu'il ressort de cette recherche, que le SD permet de conserver l'humidité pondérale mieux que TC, alors que cette dernière a diminué fortement la résistance du sol à la pénétration.

Quel que soit la dose de semis, le rendement est plus important au niveau du semis direct. Pour le blé, il est de **64,1 q/ha** pour le SD et de **61,1 q/ha** pour le TC, alors que pour le bersim, il est de **4,3 T/ha** de MS pour le SD et **3,4 T/ha** pour le TC.

Le système semis direct est plus avantageux en termes d'économie de temps et de carburant. Dans un sol lourd argileux, le SD permet de gagner d'environ **7h 55 min** de temps et **80 L** de carburant par rapport au TC. Alors que sur un sol argileux limoneux, le SD permet de gagner **6h 55 min** à **7h 5 min** et **68,6 L** à **79,5 L** par rapport au TC.

**Mots clés :** Travail conventionnel ; semis direct ; paramètres du sol ; racines ; rendement ; consommation du temps ; consommation de carburant.

## Abstract

The objective of our study is based on an agronomic analysis of the effects of two cultivation techniques, conventional tillage and direct seeding, on the behaviour of the soil and the impact of the latter on the rooting and production of a durum wheat (Siméto variety), followed by a fodder legume, bersim (Tigri variety), in a rotation adopted by the technical institute of field crops of oued-smar since 2004. This work is also based on an energetic analysis of the implementation of classic and simplified cultivation techniques for farms active in cereal cultivation, the aim is to compare the time required and the volume of fuel consumed by the two techniques, classic and modern (TC and SD), this comparison concerns all the cultivation operations practised (apart from harvesting) at the level of 25 farms located in the wilaya of Sétif.

What this research shows is that SD conserves moisture by weight better than TC, while TC greatly reduced soil resistance to penetration.

Regardless of the seeding rate, the yield is higher with direct seeding. For wheat, it is **64.1 q/ha** for SD and **61.1 q/ha** for TC, while for bersim, it is **4.3 T/ha DM** for SD and **3.4 T/ha** for TC. The no-till system is more advantageous in terms of time and fuel savings. On a heavy clay soil, SD saves about **7h 55 min** of time and **80 L** of fuel compared to TC. On a clay loam soil, SD saves **6h 55 min** to **7h 5 min** and **68,6 L** to **79,5 L** compared to TC.

**Key words :** Conventional tillage ; direct seeding ; soil parameters ; roots ; yield ; time consumption ; fuel consumption.

## المخلص

الهدف من دراستنا هو اجراء تحليل تأثير تقنيتي الزراعة، الحرث التقليدي والبذر المباشر، على سلوك التربة وتأثير الأخيرة على جذور ومردود القمح القاسي (صنف سيميتو)، يليه علف البقوليات، البرسيم (صنف تيفري)، دورة زراعية تبناها المعهد التقني للزراعات الواسعة في واد السمار منذ عام 2004.

هذا العمل يعتمد أيضًا على تحليل الطاقوي لاستخدام تقنيات الزراعة التقليدية والمبسطة للمزارع النشطة في زراعة الحبوب، الهدف هو المقارنة بين وقت العمل اللازم وحجم الوقود المستهلك بالتقنيتين الكلاسيكية والحديثة، تشمل هذه المقارنة جميع العمليات الزراعية المنفذة (باستثناء الحصاد) على مستوى 25 مزرعة تقع في ولاية سطيف. ما يمكن استخلاصه من هذا البحث هو ان "ب م" يحافظ على رطوبة التربة أفضل من "ح ت" الا ان هذه الاخيرة قللت بشكل كبير من مقاومة التربة للاختراق.

مهما كانت جرعة البذر "ب م" سمحت بالحصول على اعلى مردود بالنسبة للقمح قدر ب 1،64 ق/ه بالنسبة ل "ب م" و 1،61 ق/ه بالنسبة ل "ح ت"، نفس الشيء فيما يخص البرسيم قدر المردود ب 3،4 ط/ه بالنسبة ل "ب م" و 3،4 ط/ه بالنسبة ل "ح ت". تقنية البذر المباشر مستحسنة جدا من حيث اقتصاد الوقت والوقود، حيث على تربة طينية تسمح "ب م" بربح 7 سا 55 د من الوقت و 80 ل من الوقود مقارنة ب "ح ت"، اما على تربة طينية-غضرية "ب م" يسمح بربح 6 سا 55 د حتى 7 سا 5 د من الوقت وكذا 6،68 ل حتى 5،79 ل من الوقود مقارنة ب "ح ت".

**كلمات مفتاحية :** الحرث التقليدي – البذر المباشر – خصائص التربة -الجذور – المردود – استهلاك الوقت – استهلاك الوقود

## Liste des abréviations

- da : Masse volumique sèche ( $\text{g/cm}^3$ ).
- $d_R$  : Densité des racines.
- dr : Diamètre des racines.
- $dr^*$  : La densité réelle.
- D1 : Faible dose.
- D2 : forte dose.
- EA : Exploitation agricole.
- EAC : Exploitation agricole collective.
- EAI : Exploitation agricole individuelle.
- Ech : Echantillon.
- F : la force de résistance du sol à la pénétration.
- H% : Humidité du sol.
- ITGC : Institut technique des grandes cultures.
- Lt : Largeur de travail.
- LR : Longueur des racines.
- Lv : La levée de la culture.
- MH : Mauvaises herbes.
- MS : Matière sèche.
- $MS_{MH}$  : Matière sèche des mauvaises herbes.
- MV : Matière fraîche.
- n% : la porosité.
- Nodules / ha : Nombre des nodules par hectare.
- N.Psg : Nombre de passages.
- N.T : Nombre de traitements phytosanitaires.
- p : Profondeur de mesure de la résistance pénétrométrique.
- Pi : Poids initial.
- $PI / \text{m}^2$  : Nombre moyen de levée par un mètre carré.
- Pmoy : Profondeur moyenne de travail.
- Pr : Prélèvement.
- Ps : Poids sec.
- Rdt : Rendement.
- $R_p$  : Résistance pénétrométrique.
- SAU : Surface agricole utile.
- SD : Semis direct.
- TC : Technique conventionnelle.
- $\mu P$  : Microparcelle.

## Liste de figures

<b>Figure 1</b> : Aires et époques de diffusion des principales céréales.....	<b>08</b>
<b>Figure 2</b> : Production mondiale, utilisation et stocks de Blé.....	<b>09</b>
<b>Figure 3</b> : Principaux producteurs de céréales dans le monde.....	<b>10</b>
<b>Figure 4</b> : Superficie emblavée pour le blé dur, blé tendre et l'orge en Algérie entre 1998 et 2015.....	<b>12</b>
<b>Figure 5</b> : Evolution de la production annuelle de blé dur, blé tendre et l'orge en Algérie entre 1998 et 2015.....	<b>13</b>
<b>Figure 6</b> : Evolution du rendement des céréales en Algérie entre 1998 et 2013.....	<b>14</b>
<b>Figure 7</b> : Répartition des classes des tailles des mottes après chaque opération.....	<b>19</b>
<b>Figure 8</b> : Répartition des surfaces en semi direct dans le monde.....	<b>22</b>
<b>Figure 9</b> : Représentation schématique des profils culturaux des modalités LT (labour traditionnel) et TR (travail réduit) observés en mars 2006.....	<b>27</b>
<b>Figure 10</b> : Influence de la profondeur et du type de travail du sol sur la biomasse microbienne et sa répartition au sein du profil cultural (0-30 cm).....	<b>29</b>
<b>Figure 11</b> : Pluviométrie (mm) de la campagne agricole 2017-2018.....	<b>48</b>
<b>Figure 12</b> : Schéma du dispositif expérimental.....	<b>49</b>
<b>Figure 13</b> : Etat du sol après le labour (a), après la reprise de labour (b) et pendant le semis (c).....	<b>50</b>
<b>Figure 14</b> : Pulvérisation de l'herbicide (a) et l'état du sol après le semis (b).....	<b>50</b>
<b>Figure 15</b> : Evolution de l'humidité du sol en fonction.....	<b>54</b>
<b>Figure 16</b> : Évolution de la résistance pénétrométrique du sol.....	<b>55</b>
<b>Figure 17</b> : Taux de levée en fonction de la technique et la dose.....	<b>56</b>
<b>Figure 18</b> : Racines prélevées au niveau de TCD1 et SDD1.....	<b>58</b>
<b>Figure 19</b> : Racines prélevées au niveau de TCD2 et SDD2.....	<b>58</b>
<b>Figure 20</b> : Effet de la technique culturale sur le diamètre des racines pour D1.....	<b>59</b>
<b>Figure 21</b> : Effet de la technique culturale sur le diamètre des racines pour D2.....	<b>59</b>
<b>Figure 22</b> : Effet de la technique culturale sur la longueur des racines pour D1.....	<b>60</b>
<b>Figure 23</b> : Effet de la technique culturale sur la longueur des racines pour D2.....	<b>60</b>
<b>Figure 24</b> : Rendement du blé estimé en fonction de la technique et la dose.....	<b>61</b>
<b>Figure 25</b> : Pluviométrie (mm) de la campagne agricole 2018-2019.....	<b>66</b>
<b>Figure 26</b> : Etat du sol après le labour (d), après la reprise de labour (e) et pendant le semis (f).....	<b>67</b>

<b>Figure 27</b> : Pulvérisation de l'herbicide (c) et l'état du sol après le semis (d).....	<b>67</b>
<b>Figure 28</b> : Effet de la technique sur l'humidité pondérale.....	<b>72</b>
<b>Figure 29</b> : Effet de la technique sur la résistance à la pénétration.....	<b>73</b>
<b>Figure 30</b> : Effet de la technique sur la levée du Bersim.....	<b>74</b>
<b>Figure 31</b> : Racines prélevées au niveau de TCD1 et SDD1.....	<b>75</b>
<b>Figure 32</b> : Effet de la technique sur la densité racinaire pour D1.....	<b>76</b>
<b>Figure 33</b> : Racines prélevées au niveau de TCD2 et SDD2.....	<b>76</b>
<b>Figure 34</b> : Effet de la technique sur la densité racinaire pour D2.....	<b>77</b>
<b>Figure 35</b> : Nombre de nodosités pour les deux coupes en fonction de la technique et la dose.....	<b>78</b>
<b>Figure 36</b> : Taux de mauvaises herbes pour les deux coupes en fonction de la technique et la dose.....	<b>79</b>
<b>Figure 37</b> : Rendement du Bersim en MS en fonction de la technique et la dose.....	<b>80</b>
<b>Figure 38</b> : Taux de MS du bersim par rapport au MV en fonction de la technique et la dose.....	<b>81</b>
<b>Figure 39</b> : Situation de la région de Sétif.....	<b>86</b>
<b>Figure 40</b> : Répartition des précipitations à Sétif.....	<b>88</b>
<b>Figure 41</b> : Situation géographique des exploitations agricoles étudiées.....	<b>90</b>
<b>Figure 42</b> : les plages d'âge (a) et l'expérience des agriculteurs(b).....	<b>92</b>
<b>Figure 43</b> : Statut juridique des exploitations agricoles étudiées à Sétif.....	<b>92</b>
<b>Figure 44</b> : Taille des exploitations agricoles étudiées à Sétif.....	<b>93</b>
<b>Figure 45</b> : Matériel de traction utilisé dans les exploitations agricoles qui ont adoptés TC.....	<b>94</b>
<b>Figure 46</b> : Matériel de labour utilisé dans les exploitations agricoles qui ont adoptés TC.....	<b>94</b>
<b>Figure 47</b> : Matériel de pseudo labour utilisé dans les exploitations agricoles qui ont adoptés TC.....	<b>95</b>
<b>Figure 48</b> : Matériel de semis utilisé dans les exploitations agricoles qui ont adoptés TC.....	<b>96</b>
<b>Figure 49</b> : Matériel d'épandage d'engrais utilisé dans les exploitations agricoles qui ont adoptés TC.....	<b>96</b>
<b>Figure 50</b> : Matériel de pulvérisation utilisé dans les exploitations agricoles qui ont adoptés TC.....	<b>97</b>

<b>Figure 51</b> : Etat du matériel utilisé dans les exploitations agricoles qui ont adoptés TC.....	<b>98</b>
<b>Figure 52</b> : Matériel de traction utilisé dans les exploitations agricoles qui ont adoptés SD.....	<b>98</b>
<b>Figure 53</b> : Matériel de pulvérisation utilisé dans les exploitations agricoles qui ont adoptés SD.....	<b>99</b>
<b>Figure 54</b> : Matériel de fertilisation utilisé dans les exploitations agricoles qui ont adoptés SD.....	<b>100</b>
<b>Figure 55</b> : Etat du matériel utilisé dans les exploitations agricoles qui ont adoptés SD.....	<b>101</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b> : Temps et la consommation du carburant pour les différents types de sol et des itinéraires techniques.....	<b>38</b>
<b>Tableau 2</b> : Consommation de fuel (L/ha) et le temps de travail (min/ha) hors récolte pour la mise en place d'une céréale (Blé dur).....	<b>38</b>
<b>Tableau 3</b> : Itinéraires techniques mis en œuvre sur la culture de blé dans l'essai longue durée de Boigneville et utilisés pour l'évaluation des consommations de carburants.....	<b>39</b>
<b>Tableau 4</b> : Descriptif du matériel d'essai (2017/2018).....	<b>51</b>
<b>Tableau 5</b> : Descriptif du matériel d'essai (2018/2019).....	<b>68</b>
<b>Tableau 6</b> : Spéculations céréalières, la surface emblavée, la surface récoltée, la production et le rendement de chaque spéculation dans la wilaya de Sétif.....	<b>87</b>
<b>Tableau 7</b> : Précipitations enregistrées au niveau de la wilaya de Sétif durant les campagnes agricoles 2016/17, 2017/18 et 2018/19.....	<b>88</b>
<b>Tableau 8</b> : Consommation du temps et du carburant pour labourer un hectare par une charrue à 3 socs.....	<b>102</b>
<b>Tableau 9</b> : Consommation du temps et du carburant pour labourer un hectare par une charrue à 3 disques.....	<b>103</b>
<b>Tableau 10</b> : Consommation du temps et du carburant pour la reprise de labour d'un hectare labouré par une charrue à 3 socs.....	<b>104</b>
<b>Tableau 11</b> : Consommation du temps et du carburant pour la reprise de labour d'un hectare labouré par une charrue à 3 disques.....	<b>104</b>
<b>Tableau 12</b> : Consommation du temps et du carburant pour semer un hectare (TC).....	<b>105</b>
<b>Tableau 13</b> : Consommation du temps et du carburant pour traiter un hectare (TC).....	<b>107</b>
<b>Tableau 14</b> : Consommation du temps et du carburant pour appliquer l'engrais de fond dans un hectare (TC).....	<b>108</b>
<b>Tableau 15</b> : Consommation du temps et du carburant pour appliquer l'engrais de couverture dans un hectare (TC).....	<b>109</b>
<b>Tableau 16</b> : Consommation du temps et du carburant pour traiter un hectare (SD).....	<b>110</b>

<b>Tableau 17</b> : Consommation du temps et du carburant pour semer un hectare (SD).....	<b>111</b>
<b>Tableau 18</b> : Consommation du temps et du carburant pour appliquer l'engrais de couverture dans un hectare (SD).....	<b>112</b>
<b>Tableau 19</b> : Analyse comparée de la consommation dans un sol Argileux.....	<b>113</b>
<b>Tableau 20</b> : Analyse comparée de la consommation dans un sol Argilo-limoneux.....	<b>114</b>
<b>Tableau 21</b> : Rendement moyen de blé dur enregistré pour les trois compagnes étudiées en fonction de la technique culturale adoptée.....	<b>115</b>
<b>Tableau 22</b> : Rendement moyen de blé tendre enregistré pour les trois compagnes étudiées en fonction de la technique culturale adoptée.....	<b>115</b>
<b>Tableau 23</b> : Rendement moyen de l'orge enregistré pour les trois compagnes étudiées en fonction de la technique culturale adoptée.....	<b>115</b>
<b>Tableau 24</b> : Rendement moyen du blé dur enregistré pour les trois compagnes étudiées en fonction de la technique culturale adoptée.....	<b>115</b>
<b>Tableau 25</b> : Rendement moyen du blé tendre enregistré pour les trois compagnes étudiées en fonction de la technique culturale adoptée.....	<b>115</b>

# **Introduction générale**

## Introduction générale

Les céréales, y compris le blé dur et tendre, le maïs, l'orge, et triticale, sont considérées comme des cultures primaires et stratégiques car elles constituent des aliments de base pour la plupart des populations à travers le monde. D'ici 2050, une augmentation de 70 à 100 % de l'approvisionnement en céréales est nécessaire pour nourrir la population mondiale prévue de 9,8 milliards de personnes (**Godfray *et al.*, 2010**).

En Algérie, la céréaliculture continue à occuper une place importante dans l'agriculture algérienne. Les trois principales céréales (Orge, blé dur et blé tendre) couvrent annuellement environ 5 millions d'hectares, soit 60 % de la SAU du pays, la majorité de ces cultures sont localisés dans les zones semi-arides et arides. (**Feddal, 2015**). La production nationale céréalière réalisée à l'issue de la campagne 2018-2019 a atteint 59,5 millions de quintaux (**MADR, 2020**). En dépit d'indéniables progrès, les rendements céréaliers demeurent faibles et très irréguliers : 13,5 qx/ha en moyenne sur 2001-2010 jusqu'à 19 qx/ha en 2018 (**MADR, 2018**), ce qui se situe loin derrière la productivité des pays méditerranéens de l'Europe, la France par exemple avec 72 qx/ha et les USA avec 78 qx/ha. (**FAOSAT, 2018**).

Les besoins nationaux en céréales sont estimés à environ 80 millions de qx/an, le reste est importé, l'Algérie est considérée comme l'un des plus importants pays importateurs de céréales au monde. Comme ces chiffres l'indiquent, à ce jour, l'Algérie n'est pas en mesure d'assurer sa sécurité alimentaire et compte sur l'importation pour combler les besoins d'une population qui ne cesse de croître au fil des années.

L'augmentation des cadences de production est généralement acceptée comme solution pour répondre à la demande croissante, mais les chiffres historiques montrent que les cadences de production actuelles sont loin des objectifs à atteindre (**Ray *et al.*, 2013**). De plus, ce problème est encore aggravé par une réduction drastique des surfaces de terres fertiles et arables disponibles pour cultiver ces cultures, qui devrait continuer à diminuer à l'avenir en raison des pratiques agricoles actuelles notamment les techniques de travail du sol (**Hawkesford *et al.*, 2013**).

Le travail du sol conventionnel comprenant le déchaumage et le labour (**Zhang *et al.*, 2016**), est la pratique de préparation du sol la plus utilisée en agriculture depuis des milliers d'années, son rôle est la transformation d'un état initial du sol caractérisé par un tassement excessif en un état final caractérisé par une porosité moyenne favorisant une bonne infiltration de l'eau dans le sol, ainsi qu'un bon développement de la culture en place. Cependant, dans les

zones arides et semi-arides, la perturbation intensive du sol et la surface nue du sol provoqués par le travail du sol tout au long de la saison agricole provoque toujours une forte évaporation et des conditions très sèches pour la croissance des cultures (**He et al., 2006 ; Feng et al., 2011**), entraîne une accélération de l'érosion et la dégradation des sols, et affecte les fonctions de l'écosystème (**Choudhury et al., 2014**). Au cours du XXème siècle de nouveaux problèmes de fertilité des sols sont apparus, notamment aux Etats-Unis où les graves problèmes d'érosion ("Dust Bowl") ont conduit au développement de techniques alternatives au labour. Une des solutions proposées est les techniques de conservation, cette dernière a été proposée dans le monde (**Gao et al., 2003**).

Ces techniques ont été regroupées sous le terme techniques culturales simplifiées, ou agriculture de conservation, lorsqu'elles laissent plus de 30 % des résidus de la culture précédente en surface (**Köller, 2003 ; Labreuche et al., 2007**). La présence d'un mulch en surface et la limitation des perturbations verticales du sol protègent le sol de l'érosion éolienne et hydrique, limitent les pertes de MOS, favorisent l'activité biologique des sols et permettent d'augmenter la largeur de travail des outils et de réduire ainsi la charge de travail des agriculteurs sans diminuer pour autant le rendement des cultures (**Kern et Johnson, 1993 ; Köller, 2003**).

Cependant, certains chercheurs ont noté que les mono-systèmes (utilisation de la même technique sur plusieurs années) y compris celles de conservation et conventionnel à long terme, conduisent à quelques défaillances sur l'amélioration du sol et l'augmentation du rendement des cultures (**Hou et al. 2012 ; Zhang et al. 2018**). L'utilisation d'un mono-système sur le long terme peut ne pas toujours être en mesure de satisfaire les besoins des agriculteurs pour la production agricole, comme l'amélioration de la qualité des sols, la capacité de contrôler les mauvaises herbes, les intrants économiques réduits et gain de temps (**FAO, 2008**). Le semis direct à long terme a produit une augmentation de la matière organique du sol et une minéralisation de l'azote du sol dans les couches superficielles. Mais en même temps, a créé progressivement des sols compactés et acides, et réduit le mélange de la matière organique dans les couches profondes du sol (**Giller et al., 2009**).

Par exemple, l'ajout de grandes quantités de matière organique décomposable à la surface sol a également un certain nombre d'effets négatifs, comme la stimulation des vers blancs (*Holotrichia oblita* [Faldermann]) ou vers-gris (*Agrotis ipsilon* [Hufnagel] et *Agrotis segetum* [Denis & Schiffermuller]), qui couperait les racines des céréales et endommagent la croissance des céréales, et entraînant la perte complète du peuplement si l'incidence est sévère

(Giller *et al.* 2009). Le non-labour à long terme, entraîne une accumulation des nutriments du sol à la surface du sol, une diminution du rendement des cultures ou surface de sol compacte (Zhang *et al.* 2018). En absence de labour, le travail minimum du sol peut également entraîner une augmentation de la densité apparente, entraînant une réduction de l'espace poral rempli d'air (Vàclav *et al.* 2013), ce qui peut diminuer l'absorption de l'eau et nutriments par le système racinaire (Birkas *et al.* 2004). Ces changements entraîneraient une réduction des rendements (Franchini *et al.* 2012). Bien que les techniques culturales simplifiées ne montrent aucun effet réducteur sur le rendement en grain au cours des 3 premières années d'adoption, provoquent par ailleurs, une diminution du rendement dans les années suivantes (Shi *et al.* 2016), tandis que le travail du sol conventionnel produit un rendement en grains significativement plus élevé au cours des saisons suivantes (Brenna *et al.* 2014).

Au cours de la dernière décennie, certains chercheurs ont démontré que la combinaison des techniques de conservation et simplifiées pourrait augmenter le rendement des cultures et conservent plus d'eau dans le sol, que les mono-systèmes (Hou *et al.* 2012, 2013 ; Zhang *et al.* 2017). Combiner différentes pratiques de travail du sol dans une rotation rationnelle qui s'adapte au système de culture peut contrecarrer certaines défaillances causés par les pratiques de mono-système (Hou *et al.* 2013).

Outre ces constatations, l'effet de l'état du sol sur le développement des racines et donc sur celui de la plante a été et continue d'être le sujet de préoccupation de plusieurs chercheurs. Selon Roger-Estrade *et al.* (2004), les racines mènent une vie secrète dans le sol ; un hectare de blé d'hiver peut cacher 300 000 km de racines, qui fournissent de l'eau et des nutriments à la culture. Un système racinaire bien développé est le résultat d'une bonne structure du sol et est essentiel pour un rendement élevé.

Les principaux facteurs influençant la croissance des racines sont : un système poreux approprié dans lequel les racines peuvent se développer, l'impédance racinaire, la teneur en eau du sol, la température du sol, l'oxygène (Munoz-Romero, 2015). Actuellement plusieurs études ont mis en évidence les différents effets des pratiques agricoles sur l'état physique et mécanique des sols mais les travaux sur les effets des techniques sur le développement racinaire sont toujours d'actualité. Les méthodes de culture ont donc une influence profonde et certaine sur la forme et le développement des racines ; car elles affectent de nombreux aspects de l'environnement racinaire, à savoir : l'humidité et la température du sol, l'espace poreux, la concentration en oxygène, la distribution de la matière organique, la mobilisation des nutriments et la configuration physique des sols de surface.

En Algérie, les résultats de recherches menées pendant une dizaine d'année notamment par (Amara et Feddal, 2011, 2015; Labad, 2018 ; Bentahar, 2019) dans le cadre de coopération avec l'ITGC ont montré que le système semis direct présente beaucoup de problèmes, le développement de ces systèmes s'est accompagné d'une utilisation croissante d'herbicides nécessaire au contrôle du développement des adventices qui n'est plus assuré, en partie, par le labour. Ces systèmes sont donc efficaces mais à des coûts élevés d'intrants chimiques accroissant ainsi leur potentiel de pollution des eaux de surface, les enquêtes menées sur terrain affirment que le peu d'agriculteurs utilisant le semis direct s'interrogent sur l'effet de ces techniques sur le développement des adventices, l'adaptation de leur parc matériel.

Un autre constat à mettre à l'actif des agriculteurs algériens, le manque d'application de techniques adaptées aux conditions locales et la méconnaissance de l'utilisation du matériel agricole, on trouve de grandes différences de rendement des cultures, cultivées à priori dans des conditions du milieu identiques. Cette variation de rendement découle, entre autres, des caractéristiques physicochimiques du sol différentes. Elle met en cause le choix du matériel de travail du sol et montre le manque d'informations du décideur (l'agriculteur) quant à l'action précise des différents outils sur l'état du sol, dans différents types de sol et dans des conditions climatiques variables. D'où l'intérêt de caractériser l'effet des outils sur le sol et pouvoir prédire la qualité de travail qui sera obtenue dans des conditions du sol données par une séquence d'outils choisie et selon un mode opératoire connu.

Ce constat nous a poussés à axer nos travaux sur les techniques de préparation du sol conventionnelle, et simplifiée, notre travail s'inscrit dans le cadre d'un début de recherche afin de répertorier les outils de travail du sol et de modèles de prédiction de leurs effets dans différentes conditions et types de sol. Ainsi, notre contribution dans ce domaine consiste à revoir les techniques culturales, (afin de choisir des itinéraires techniques adéquats qui tiennent compte des paramètres climatiques, édaphiques et économiques et qui freinent en même temps la dégradation du milieu naturel notamment le sol.

L'objectif de cette thèse est d'analyser les effets pédologiques, agronomiques, et environnementaux des techniques de préparation du sol, allant de la technique conventionnelle au semis direct en passant par les techniques minimales de travail du sol :

**Pédologiques**, il s'agit d'analyser l'effet des différentes techniques de travail du sol (travail conventionnel et semis direct) sur la densité apparente, la porosité, l'humidité, et résistances pénétrométrique du sol.

**Agronomiques**, d'analyser l'enracinement du blé dur et du bersim, qui a été apprécié par deux mesures à savoir l'élongation, le diamètre et la densité racinaire. Pour mettre en évidence les effets des différentes techniques de préparation du sol sur le rendement du blé, un certain nombre de paramètres ont été mesurés, il s'agit des composantes du rendement : le poids de mille grains, le nombre de grains par m<sup>2</sup>, le nombre de grains par épi, et enfin le rendement estimé en qx/ha.

**Environnementaux**, et sachant que la réduction du travail mécanique du sol et de la consommation d'énergie implique une réduction des particules émises durant le labour, ce qui résulte en une réduction de la pollution de l'air. Nous avons établi une analyse comparative entre les techniques culturales classiques et simplifiées dans les exploitations à production céréalière active, il s'agit de comparer la consommation d'énergie par hectare pour l'ensemble des opérations agricoles pratiquées (hors récolte), ainsi que le temps de chantier nécessaire, en tenant compte du choix de l'outil aratoire, matériel de traction, de l'état de la machine, de comprendre les raisons des consommation excessive, et de proposer des solutions.

Ce qui nous amène aux questions de recherche suivants :

*Quel est l'impact de la réduction du travail du sol sur les propriétés physico-mécaniques du sol ?*

*Y aura-t-il un effet sur l'enracinement du blé et le bersim ?*

*Quelle est la conséquence de cette réduction du travail du sol sur le rendement du blé et le bersim ?*

*L'adoption du semis direct dans les zones semis arides telle que Sétif pourra-t-il réduire la consommation d'énergie et de temps de chantier ?*

Pour répondre à ces objectifs, deux itinéraires techniques de travail du sol, allant du labour classique (référence) au semis direct, ont été comparés dans les mêmes situations pédoclimatiques et historiques. Les traitements choisis représentent un gradient d'intensification du travail du sol et chaque système conserve un niveau minimal de mécanisation afin de maîtriser le développement des adventices et de préparer le lit de semence. Ces modes de travail du sol sont étudiés dans le cadre de production céréalière et fourragère.

## **Synthèse bibliographique**

# Chapitre I : Place de la céréaliculture dans le monde et en Algérie

## I. 1. Introduction

Il y a vingt siècles, Xénophon, illustre philosophe de son époque notait que : « l'agriculture est la mère de tous les arts, lorsqu'elle est bien conduite, tous les autres arts prospèrent ; mais lorsqu'elle est négligée, tous les autres arts déclinent sur terre comme sur mer » (**Jacques Diouf, 2004**), bien qu'elle soit vieille de 2000 ans cette pensée n'a pratiquement pas perdu de sa valeur jusqu'à nos jours.

Actuellement, il n'existe aucun pays qui peut se permettre de négliger ce secteur au profit d'un autre, car la sécurité alimentaire est l'une des priorités primordiales des gouvernements qui ne peut être assurée si celui-ci repose sur l'importation des produits alimentaires.

Les produits céréaliers évoquent essentiellement les aliments à grande consommation, tel que le blé, qui est incontestablement la céréale la plus produite, consommée et échangée dans le monde. Le blé constitue et continuera à être l'élément principal de la sécurité alimentaire dans la plupart des pays du monde.

C'est pour cette raison que l'amélioration de la production céréalière fait partie des priorités de tout gouvernement visant à atteindre l'autosuffisance alimentaire nationale.

Il est donc intéressant de connaître l'origine de ces produits de haute consommation ainsi que leurs situations dans le monde et spécialement en Algérie, qui cherche comme d'autres pays, à atteindre l'autosuffisance en production céréalière.

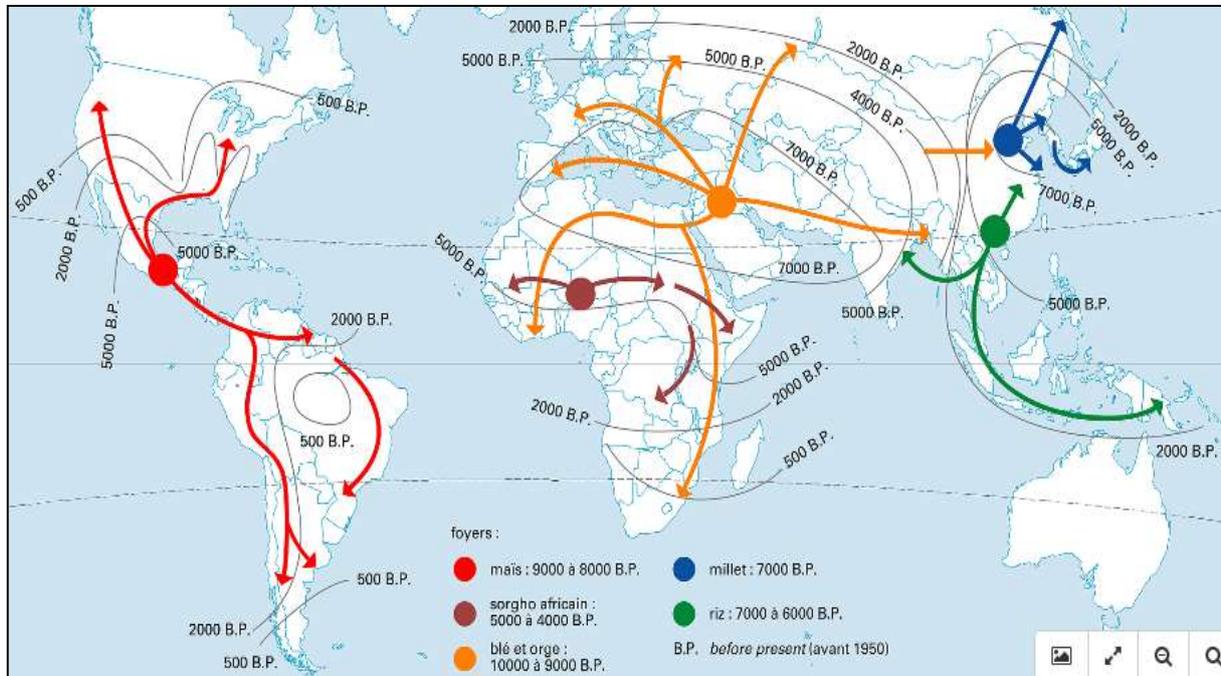
## I. 2. Origine et histoire

Selon **Charvet (2020)**, Le terme céréales désigne un ensemble de plantes qui sont cultivées principalement pour multiplier leur grains riches en Amidon et très secondairement, pour les fourrages qu'elles procurent dans le cas où elles sont récoltées en vert (avant la maturité des grains), parvenus à maturité, les grains sont principalement pour les deux tiers de la production mondiale consommés directement par les hommes. Toutefois, leur consommation indirecte, aujourd'hui, consommer un kilogramme de viande revient souvent à consommer indirectement une certaine quantité de céréales, varie en fonction du type d'animal et des performances techniques des élevages considérés.

En botanique, les céréales regroupent des plantes de la famille des **Poacées** (ou Graminées) comme le blé, le seigle, l'orge, le riz, le maïs, l'avoine, le millet, le sorgho, le triticale, l'épeautre, le kamut. Certaines graines d'autres familles botaniques sont parfois communément appelées céréales, telles que le sarrasin (**Polygonacées**), le quinoa et

l'amarante (**Chénopodiacées**). Toutefois, n'étant pas des Poacées, ces dernières ne sont pas des céréales au sens strict, et on leur donne souvent le nom de pseudo-céréales.

La carte ci-dessous, représente les aires et époques de diffusion des principales céréales (Blé et Orge, Maïs, Riz, Sorgho africain, Millet) :



**Figure 1** : Aires et époques de diffusion des principales céréales.

Source : **Encyclopædia Universalis France, 2020.**

Le blé constitue la principale culture céréalière dans le monde. Les premiers Blés ont été cultivés il y a plus de 10 000 ans par les toutes premières agricultures dans la région du Proche-Orient, Puis la culture du blé va se répandre dans toute l'Europe et l'Inde (Figure 1). Différentes espèces vont apparaître au fil du temps, à nos jours, on distingue essentiellement le Blé tendre et le Blé dur.

### I. 3. Les céréales dans le monde

Les céréales constituent de loin la ressource alimentaire la plus importante à la fois pour la consommation humaine, presque la totalité de la nutrition de la population mondiale est fournie par des aliments en grain dont 95 % sont produits par les principales cultures céréalières. Ils fournissent également une ressource privilégiée pour l'alimentation animale et de multiples applications industrielles (**Bonjean et Picard, 1990**). Ce qui permet à ces cultures d'occuper à l'échelle mondiale une place primordiale dans le système agricole.

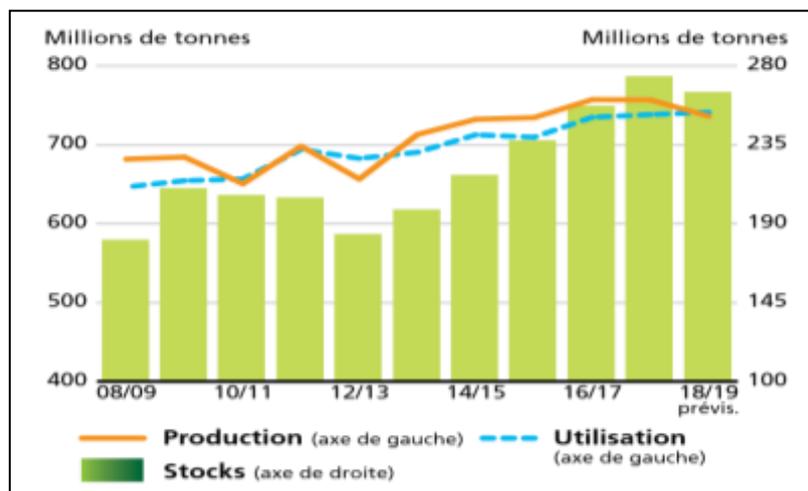
Selon **Hamadache (2013)**, la production mondiale moyenne des blés (dur et tendre) pour la période 2004-2010 est d'environ 640 millions de tonnes soit 30% de la production céréalière totale (blé, riz, orge, avoine, seigle, maïs, sorgho).

Selon la **FAO (2018)**, la production mondiale de céréales de l'année 2018-2019 a atteint 2,586 milliards de tonnes, soit 62,06 millions de tonnes (2,4%) de moins qu'en 2017-2018. Concernant l'utilisation mondiale de céréales, elle a atteint 2,641 milliards de tonnes, soit 26,5 millions de tonnes (1%) de plus qu'en 2017-2018.

L'utilisation de toutes les grandes céréales devrait continuer à progresser dans les prochaines années, en phase avec la croissance de la demande alimentaire, et l'on attend également une utilisation accrue des céréales dans l'alimentation animale et dans l'industrie.

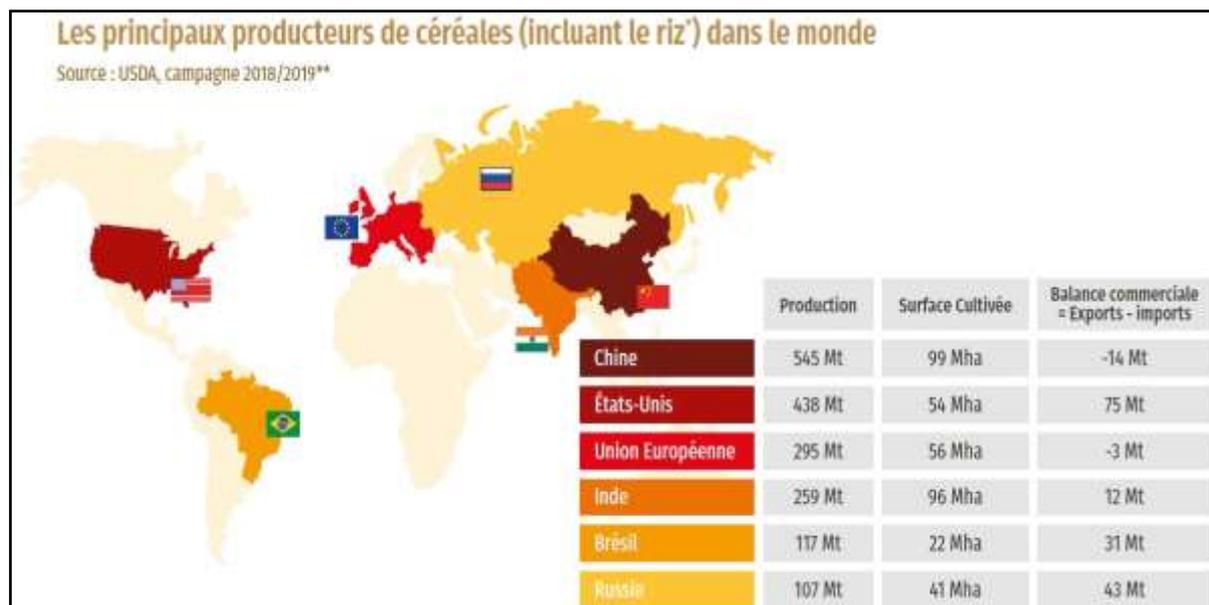
Pour les Blés, et toujours selon FAO, la production mondiale peut atteindre 736,1 millions de tonnes, soit 19,9 millions de tonnes (2,7%) de moins qu'en 2017-2018. Où l'utilisation mondiale devrait atteindre 741,1 millions de tonnes, soit 2,96 millions de tonnes (0,4%) de plus qu'en 2017-2018.

La figure ci-dessous, représente la production mondiale de Blé, la quantité utilisée et le stock depuis la campagne 2008-2009, avec une prévision de la campagne 2018-2019.



**Figure 2 :** Production mondiale, utilisation et stocks de Blé.  
Source : **FAO, 2018**

Pour conclure et montrer l'importance des céréales dans le monde, la figure ci-dessous résume les principaux producteurs de céréales dans le monde.



**Figure 3** : Principaux producteurs de céréales dans le monde.

Source : **Passion céréales, 2020.**

Cette figure montre que 368 millions d'hectares est la surface cultivée en céréales dans le monde en dehors du continent africain. Sur les 700 millions d'hectares dans le monde, il reste 332 millions d'hectares qui sont donc cultivés sur le continent africain et sur le reste des pays d'Amérique latine et du Canada.

En 2018/2019, 700 millions d'hectares de céréales sont cultivés dans le monde, soit 49 % des terres arables, 14 % de la surface agricole mondiale et 5 % des terres émergées du monde, et 2,6 milliards de tonnes de céréales ont été produites.

#### **I. 4. Situation de la céréaliculture en Algérie**

En Algérie, le secteur des céréales se situe au premier ordre des priorités économiques et sociales du pays vu le rôle important que jouent les céréales dans le régime alimentaire du peuple algérien. Il occupe une importante place dans la production agricole algérienne, tant par les surfaces que par la valeur des ressources qu'il procure au pays. Cette priorité se manifeste notamment à travers la place importante dont il jouit dans les différents plans de développement socioéconomique que le gouvernement algérien a élaboré depuis son indépendance.

Dans plusieurs régions d'Algérie, les céréales représentent les ressources principales du Fellah, elles constituent la base de la nourriture des Algériens (**Lerin François, 1986**).

En Algérie, c'est 54% des apports énergétiques et 62% des apports protéiniques journaliers des ménages qui proviennent de la consommation des céréales (**Rastoin, 2009**).

Selon **Feillet P. (2000)**, Les céréales et leurs dérivés constituent l'épine dorsale du système alimentaire algérien.

Les statistiques de la FAO montrent que les pays de l'Afrique du nord dont l'Algérie et l'Égypte sont les plus grands importateurs du blé. Elles prédisent que la demande céréalière pour ces pays arrivera aux environs de 51,4 millions de tonnes toutes céréales confondues vers l'horizon 2050.

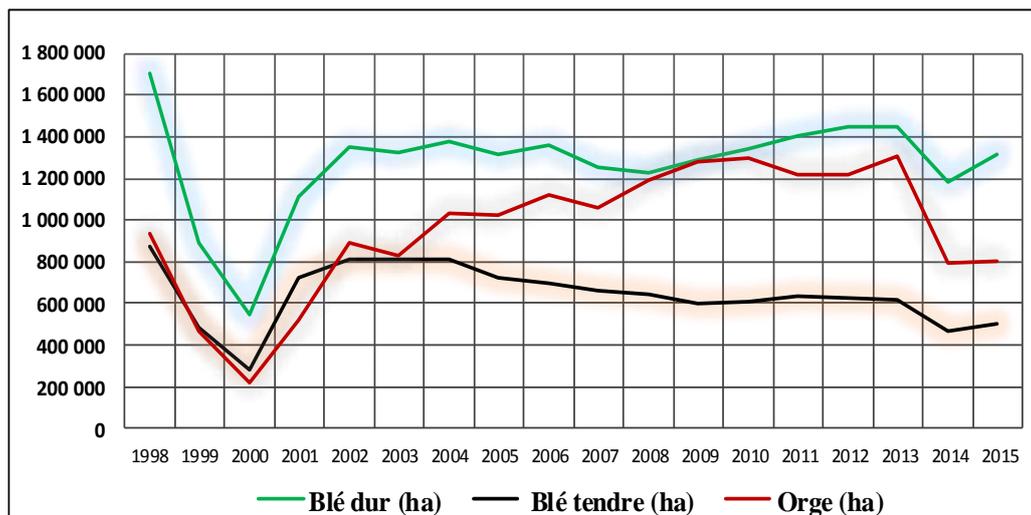
Aujourd'hui, le secteur agricole reste le troisième secteur de l'économie nationale, en matière de formation de la valeur ajoutée. Selon le ministre d'agriculture et développement rurale (MADR), la part du produit intérieur brute (PIB) agricole dans le PIB total représentait 12% en 2012 se situant après le secteur des hydrocarbures qui représentait 45,7% et celui des services à 20,5%.

#### **I. 4. 1. Evolution des surfaces réservées aux céréales en Algérie**

La filière céréalière constitue une des principales filières de la production agricole en Algérie. Les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale, ils constituent l'alimentation de base de la population algérienne, selon **Chehat (2007)**, la consommation des produits céréaliers se situe à un niveau d'environ 205 kg /hab/an.

L'Algérie a connu ces dernières années un développement notable dans le domaine de la production céréalière. Le blé dur, le blé tendre et l'orge sont les produits céréaliers les plus consommés et même les plus productifs en Algérie. Le blé dur reste la céréale prépondérante, il représente l'aliment de base pour la majeure partie de la population algérienne, son importance réside dans le fait qu'il participe d'une façon importante et diversifiée à l'alimentation humaine, à la superficie qu'il occupe et à l'emploi qu'il génère en tant que principale culture céréalière (**ITGC, 1999**), la production de l'orge reste plus importante que le blé tendre en Algérie.

La figure 4 illustre les superficies emblavées pour le blé dur, le blé tendre et l'orge en Algérie entre 1998 et 2015.



**Figure 4** : Superficie emblavée pour le blé dur, blé tendre et l'orge en Algérie entre 1998 et 2015

Source : données du **MADR, 2015**

L'évolution des superficies des céréales d'hiver en Algérie montre une importante fluctuation d'une année à une autre. Cela est dû à plusieurs raisons, la plus importante d'entre elles les contraintes du milieu qui poussent l'agriculteur à prendre le moins de risque, surtout après le changement climatique que le monde a connu ces dernières années.

Nous remarquons également que les superficies sont en déclin tangible par rapport à la période de fin des années 90. Cela est probablement dû à l'expansion urbaine au détriment des terres agricoles, ainsi qu'à l'augmentation de la superficie occupée par les plantations et arbres fruitiers (oliviers, agrumes, figuiers, espèces à noyaux et à pépins). Selon le MADR, et sauf les palmiers dattiers, la superficie occupée par les plantations en Algérie passe de **358 470 ha** en 1998, à **762 748 ha** en 2015, ce qui a conduit à une réduction des superficies allouées aux céréales.

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

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

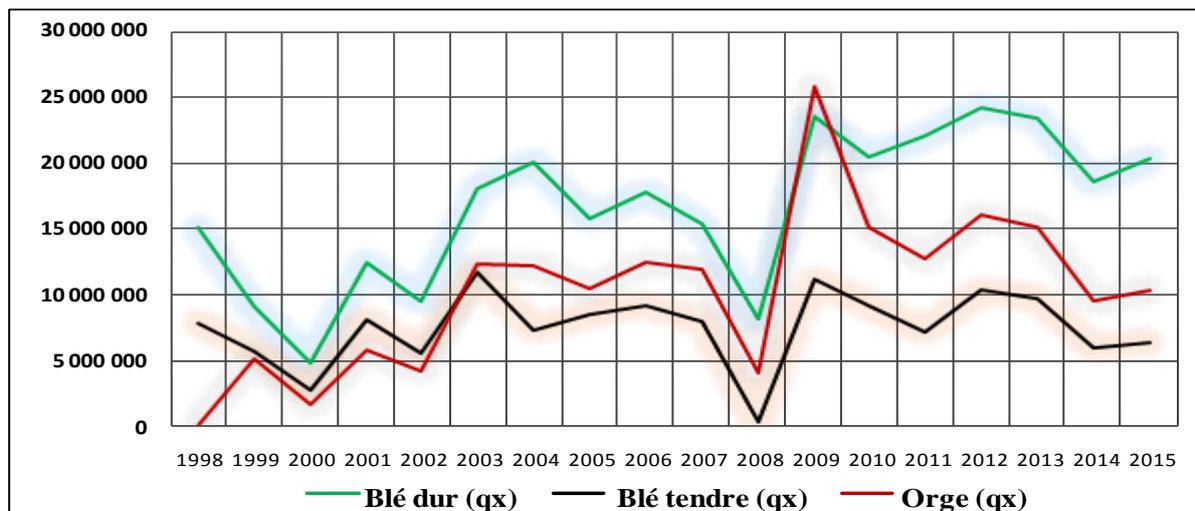
- Les zones du sud pratiquent la céréaliculture sous irrigation et dans les oasis (1.5% de la superficie emblavée).

#### I. 4. 2. La production des céréales en Algérie

La croissance démographique, le changement de modèle de consommation et le soutien des prix de produits céréaliers, font augmenter la consommation et même le gaspillage de ces produits de base. Ces deux facteurs de production / consommation situent l'Algérie comme premier importateur mondial des produits céréaliers, spécialement de blé dur.

Selon le ministère du commerce, le coût d'importation des céréales atteint les 2,71 milliards de dollars en 2016, dont 1,79 millions de tonne de blé dur, 6,43 millions de tonnes de blé tendre, 879,21 millions de tonnes d'orge.

La production nationale connaît donc une stagnation remarquable, les rendements moyens n'accusent pas d'amélioration sensible, par contre la consommation augmente sans cesse et rapidement, la figure 5 illustre la production annuelle du blé dur, blé tendre et l'orge en Algérie entre 1998 et 2015.



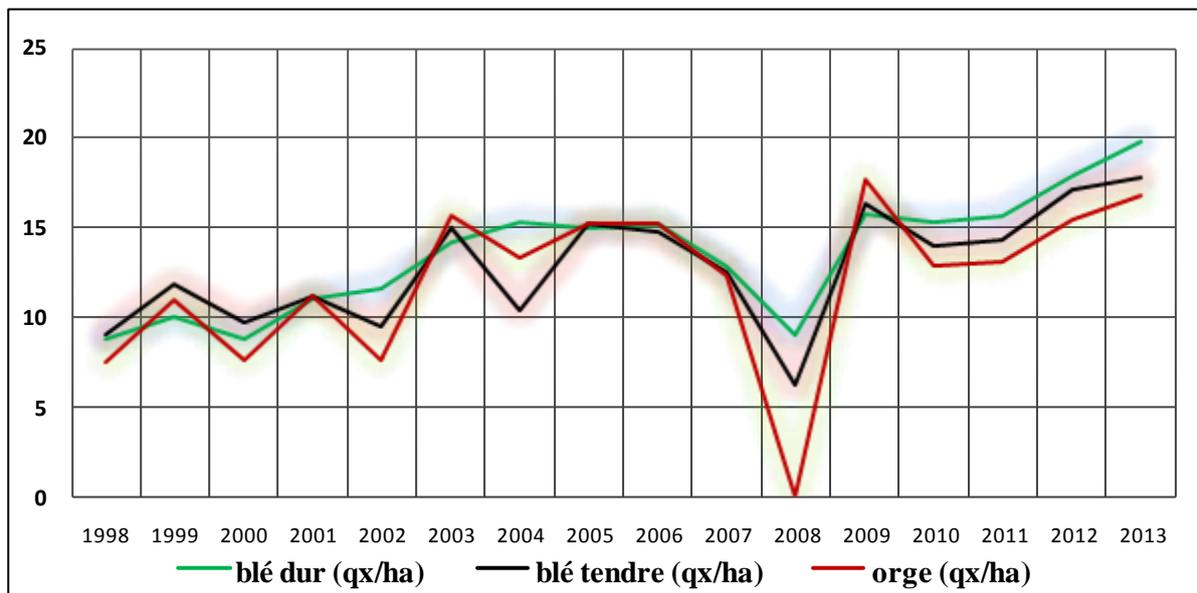
**Figure 5 :** Evolution de la production annuelle de blé dur, blé tendre et l'orge en Algérie entre 1998 et 2015

Source : données du MADR, 2015.

L'évolution de la production des céréales d'hiver en Algérie montre aussi une fluctuation d'une année à une autre, elle reste très loin de couvrir la demande en besoin qui est de plus en plus importante. Cela est dû essentiellement aux contraintes du milieu ; le climat des zones de production des céréales se caractérise souvent par une grande variabilité climatique (Baldy, 1974).

La production céréalière algérienne présente des caractéristiques fondamentales depuis l'indépendance de l'Algérie, il s'agit notamment du caractère pluvial des cultures et de la conduite en extensif de la production. Quelle que soit la zone cultivée, la pluviométrie reste un facteur prédominant qui conditionne fortement les récoltes (**Feliachi, 2000**). L'irrégularité des précipitations d'automne rend l'opération "préparation du sol" difficile et l'installation de la culture se fait souvent dans des conditions médiocres. C'est ce qui pousse l'agriculteur algérien à prendre le moins de risque en ce qui concerne les techniques culturales. Il réduit le plus souvent l'itinéraire technique de plusieurs opérations culturales pour diminuer les charges (**Moris et al. 1991**).

La figure 6 ci-dessous illustre l'évolution du rendement des céréales en Algérie entre 1998 et 2013.



**Figure 6** : Evolution du rendement des céréales en Algérie entre 1998 et 2013.

Source : données du MADR, 2015.

La figure 6 montre une augmentation des rendements moyens, passant de 8,8 q.ha<sup>-1</sup> en 1998 à 19,8 q.ha<sup>-1</sup> en 2013 pour le blé dur, de 9 q.ha<sup>-1</sup> à 17,7 q.ha<sup>-1</sup> pour le blé tendre, de 7,5 q.ha<sup>-1</sup> à 16,7 q.ha<sup>-1</sup> pour l'orge.

Les rendements les plus faibles ont été obtenus en 2008 (9,1 q.ha<sup>-1</sup> pour le blé dur, 6,3 q.ha<sup>-1</sup> pour le blé tendre et 0 q.ha<sup>-1</sup> pour l'orge), cela prouve que le stress hydrique peut intervenir à n'importe quel stade du cycle de la culture (**Baldy, 1992**) et entraînerait par la suite une baisse catastrophique du rendement en l'absence d'irrigation.

On peut dire que la production céréalière de l'Algérie est irrégulière et fortement dépendante des conditions climatiques. Cela se traduit par un changement significatif dans la SAU et la production. Par conséquent, le manque de précipitations et la répartition inégale des précipitations au cours de l'année expliquent en grande partie les énormes changements dans la production céréalière.

La maîtrise insuffisante de l'un des facteurs les plus importants pour la production agricole, c'est-à-dire la mécanisation de la céréaliculture, a aggravé les baisses des rendements des céréales, en ce qui nous concerne, en tant que machiniste agricole, nous nous efforçons d'apporter notre contribution à cet égard, à savoir l'impact des techniques de préparation du sol sur les rendements.

### **I. 5. Conclusion**

Les céréales sont l'aliment de base de la majorité de la population mondiale et le principal supplément pour nourrir les animaux consommés par l'Homme, car les céréales contiennent des éléments essentiels et des valeurs nutritives riches et importantes.

En Algérie, la culture céréalière a connu un développement notable ces dernières années, où les experts ont travaillé sur le développement de nombreuses variétés de céréales, notamment de blé, pour s'adapter au climat algérien qui a connu une sorte d'instabilité, notamment en termes de pluie, et tout cela pour obtenir une production abondante comme objectif majeur.

Cette importance a conduit les agriculteurs à travailler pour étendre cette filière. Cependant, le facteur technique est l'un des facteurs qui influence l'instabilité de la production céréalière en Algérie. La préparation du sol est devenue aléatoire et irrégulière en raison de la rareté des machines à certains moments ou du manque d'expérience scientifique correcte dans la plupart des cas.

Les méthodes de préparation du sol pour la mise en place des céréales varient en fonction de plusieurs facteurs, dont le type et la qualité du sol et le climat. En Algérie, les critères du choix de matériels pour la préparation du sol ont été acquis par héritage, parfois avec les mêmes mécanismes classiques, et parfois au hasard en fonction de la disponibilité.

Le développement de ces méthodes a rendu l'agriculteur algérien curieux de savoir comment corriger et choisir la bonne méthode, la bonne machine, et même les meilleurs moments d'intervention.

Pour plus de clarté, on va présenter dans ce qui suit les techniques culturelles les plus répandues dans le monde et en Algérie, et les travaux relatifs à l'effet de ces techniques sur les propriétés physico-mécanique du sol.

## Chapitre II : Présentation des différentes techniques de travail du sol utilisées pour la mise en place des céréales

### II. 1. Introduction

La filière des céréales est l'un des secteurs agricoles stratégiques les plus importants pour l'Algérie en particulier et pour de nombreux pays du monde. Et l'autosuffisance en céréales est un rêve économique que chacun s'efforce de réaliser.

Afin d'atteindre cette suffisance, l'agriculteur et le chercheur ont cherché ensemble à améliorer la culture des céréales afin de multiplier la production et réduire l'effort et les coûts.

En conséquence, les techniques culturales ont connu un développement important ces dernières années et certaines pratiques anciennes ont décliné dans la plupart des pays du monde.

Ces techniques culturales ont pour fonction d'agir sur tout ce qui est en relation avec le sol et avec la plante qui doivent être mise en place. Elles interviennent donc pour transformer un état initial du sol souvent caractérisé par une structure défavorable pour la mise en place d'une culture en un état qui serait favorable au développement de la culture et ce de sa germination à sa maturité.

On emploie le terme de « labour » pour décrire l'itinéraire technique dont cette pratique représente l'opération principale, et qui à son tour détermine d'autres techniques, le travail minimum ou le semis direct. On regroupe souvent les deux dernières techniques sous l'appellation de « pratiques de conservation des sols ».

Ci-dessous sont présentées brièvement les principales techniques culturales pour la mise en place des céréales en Algérie et comment les appliquer d'une manière scientifique et pratique correcte.

### II. 2. Travail conventionnel

Le travail du sol conventionnel est utilisé depuis longtemps par plusieurs générations de nos producteurs agricoles. L'équipement nécessaire pour le réaliser est aisément disponible et adapté à nos conditions de travail dans la plupart des cas.

Selon **Laverdière (2005)**, le travail du sol se définit comme étant un ensemble d'opérations pouvant mener à une modification de la partie supérieure de la couche du sol dans l'optique de créer des conditions favorables et adaptées au semis d'une culture donnée.

Selon **Seguy et al., (2009)**, les principes de l'agriculture conventionnelle sont :

- Restructuration du sol par un travail mécanique.
- Contrôle des adventices par travail du sol et emploi d'herbicides.

- Alimentation des plantes en éléments nutritifs par apports d'engrais chimiques et/ou organiques.
- Alimentation en eau par l'irrigation (quand elle est possible).
- Contrôle des bio-agresseurs par utilisation de pesticides.

La préparation du sol d'une parcelle consiste donc à réaliser une ou plusieurs opérations culturales choisies dans un ensemble de technique classées par ordre de profondeur de travail du sol décroissant.

Ce travail du sol provoque une modification au niveau de 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 sur une profondeur pouvant atteindre 30 à 40 centimètres.

### **II. 2. 1. Matériels utilisés**

Selon **Amara *et al.*, (2006)**, le travail conventionnel est le résultat du labour (retournement) du sol avec une charrue à soc ou à disque, suivi des opérations de travail superficiel pour la préparation du lit de semence.

Conventionnellement, Deux étapes caractérisent le travail du sol traditionnel. Le travail primaire qui est une étape au cours de laquelle le sol est labouré sur une profondeur équivalente à la couche arable ; le labour est effectué généralement à l'automne à l'aide d'une charrue à versoirs et dans certaines conditions à l'aide d'une charrue à disques (sol caillouteux par exemple). Alors que le travail secondaire agit sur les premiers centimètres de la surface, le rôle de cette deuxième étape est plutôt de préparer un lit de semence adéquat pour la culture à venir. Le principal équipement utilisé pour le travail secondaire se compose généralement d'un cover-crop, un cultivateur à dents rigides ou un cultivateur à dents vibrantes (vibroculteur). Le travail secondaire peut nécessiter plus d'un passage du même équipement ou de façon plus générale d'équipements différents. C'est le type d'outil, mais plus encore le nombre de passages qui joue sur l'affinement du lit de semence. Le nombre d'interventions ne doit pas être établi par routine, mais être décidé en fonction de l'état structural constaté après la première intervention. Le choix de l'équipement pour le travail secondaire est dicté par le type de sol et ses conditions aux moments des travaux.

### **II. 2. 2. Le mode d'action des outils aratoires de la méthode conventionnelle**

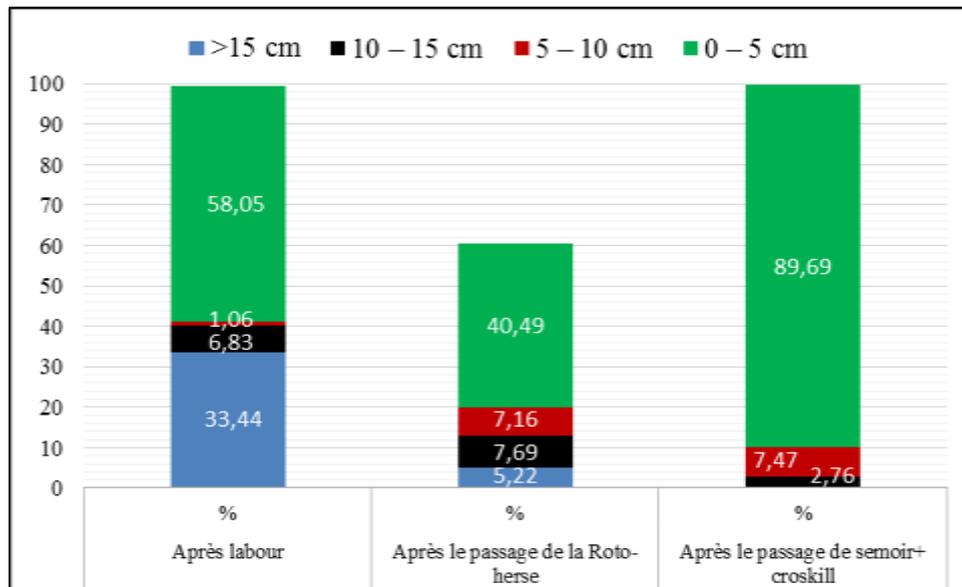
Le mode d'action des différents outils aratoires utilisés dans la méthode conventionnelle se traduit par la transformation du sol de l'état initial souvent caractérisé par

un tassement important, à son état final (état de surface, émiettement) prêt à recevoir la graine.

Une étude a été menée par **Yachi *et al.*, (2019)**, sur l'action des pièces travaillantes des outils de la technique conventionnelle sur la qualité de surface du sol à l'ITGC d'oued-smar, Alger. Dans cette étude il a été mis en évidence, par la méthode du traitement d'image les effets, sur le sol, des différents outils aratoires utilisés. Le traitement des photos avait pour objectif de montrer le degré d'émiettement du sol après le passage des différents outils aratoires. Les outils aratoires utilisés lors des essais sont respectivement :

- Charrue bisocs réversible pour le labour.
- Vibroculteur.
- Rouleau croskill après l'opération de semis.

Les résultats obtenus sont représentés par la figure suivante :



**Figure 7 :** Répartition des classes des tailles des mottes après chaque opération.

**Source :** réalisé par nous même à partir des données de **Yachi *et al.*, 2019**.

Ces résultats montrent clairement l'évolution de l'état de surface du sol après les différents passages des pièces travaillantes. Le nombre de mottes de la première classe augmente progressivement de 58, 67 à 90 % ; après le semoir et le croskill, la quatrième classe disparaît et la troisième classe n'occupe que 3%.

La réussite de la préparation du sol est une étape déterminante pour une bonne levée, bonne croissance ultérieure et meilleur rendement des cultures.

Le but principal recherché par le travail conventionnel du sol est de créer une structure favorable pour la croissance et le développement de la culture mise en place, c'est-à-dire

préparer un bon lit de semis. Le passage du semoir après la préparation affermie très ponctuellement la couche sur laquelle la graine est déposée, cet effet sera obtenu si le travail du sol a été régulier en profondeur, homogène en surface, sans excès d'affinement.

Cette bonne structure assure par la suite la germination des graines, car l'imbibition de la graine nécessite un bon contact sol-graine. Elle assure aussi une levée rapide de toutes les plantules, la levée sera complète et rapide si aucun obstacle ne se présente, qui peut être des mottes de taille supérieure à (5 cm) sur le rang, ou une croûte de battance. Pour éviter tous ces obstacles, il faut trouver un bon compromis entre la réduction des mottes et la production de la terre fine, c'est-à-dire faire un bon choix du matériel, ainsi que son utilisation dans les bonnes conditions (moments d'intervention idéal) (**Yachi et al., 2019**).

Parmi les effets recherchés par le travail du sol conventionnel, la modification des propriétés du sol par l'action des outils aratoires (fragmentation, retournement). La fragmentation du sol, améliore la porosité du sol, et par conséquent il assure une texture bien aérée, une grande capacité d'infiltration de l'eau et de l'air dans le sol et un bon développement racinaire. Concernant le retournement du sol, il assure l'enfouissement de résidus de cultures et de mauvaises herbes dans le sol (lutte mécanique), d'une manière plus homogène sur tout le profil cultural (**Yachi et al., 2019**).

### **II. 3. La technique de conservation**

L'agriculture de conservation est apparue comme une alternative à l'agriculture conventionnelle pour le but d'assurer une régularité aux rendements et protéger la ressource en sol contre l'érosion et celle en eau contre l'évapotranspiration, dans des zones où les précipitations sont irrégulières ou très rares (**Ben-Salem et al., 2006**).

L'agriculture de conservation est un ensemble de pratiques qui se reposent sur trois piliers principaux :

- Une couverture permanente du sol qui peut être apportée par une culture intermédiaire ou par les résidus de la culture précédente.
- Un travail minimal du sol, c'est-à-dire une absence totale de labour avec une réduction au minimum ou suppression totale des autres interventions.
- une rotation culturale ou en association avec une diversification des espèces cultivées.

Ci-dessous, les différentes techniques de conservation du sol pratiquées en Algérie et dans le monde.

### **II. 3. 1. Travail du sol sans labour (Travail minimum)**

Le travail minimum consiste uniquement en la suppression du labour. Il ne retourne pas l'horizon de surface suite à l'emploi d'outils non inversant (**Yachi *et al.*, 2019**), mais il semble maintenir une marge directe à des niveaux équivalents au labour, c'est-à-dire un travail à une profondeur avoisinant celle du labour.

Cette technique a un effet positif sur la limitation du ruissellement et de l'érosion, ce dernier fait partie des nombreux processus de dégradation des sols. Elle entraîne des conséquences importantes à la fois d'ordre économique, social et environnemental, notamment par la diminution du potentiel agronomique des terres agricoles, l'augmentation des risques d'inondation et constitue ainsi une mesure de prévention du risque coulée d'eau boueuse en zone agricole.

#### **II. 3. 1. 1. Matériels utilisés**

Le travail minimum assure une préparation de sol en utilisant le chisel suivi d'une herse (**Sabert et Mrabet, 2002**) ou un cultivateur à dents suivi d'une herse ou bien un cover-crop (**Lareau, 1990 ; Thibault, 2000**). Ces outils sont nommés suivant le degré de la simplification du travail (**Soltner, 2003**). Et parfois, lorsque les outils ne sont pas disponibles, l'agriculteur aura recours à une autre méthode, qui consiste à passer plusieurs fois ce qu'il possède comme outil aratoire à dents ou à disques (généralement 2 à 3 passages) jusqu'à ce qu'il obtienne la qualité de surface (lit de semence) requise.

Le travail réduit du sol est basé aussi sur la profondeur de travail, il est superficiel si la profondeur est inférieure à 10 cm sur toute la surface, profond sans retournement ou décompactage si la profondeur de travail du sol réalisé est équivalente à celle du labour (généralement 30 cm), cela fait de la profondeur de travail un facteur important pour faire un choix de l'outil.

#### **II. 3. 2. Semis direct**

Le travail excessif des sols, l'eau rare est mal répartie dont une grande partie est perdue par ruissèlement et tenant compte de l'importance de la consommation de l'énergie pour la préparation des sols avec les anciennes méthodes, les chercheurs ont proposé de nouvelles technique, elle se définit par une absence totale de travail du sol (aucun retournement, ni décompactage, ni préparation de lit de semence), en introduisant le semis direct.

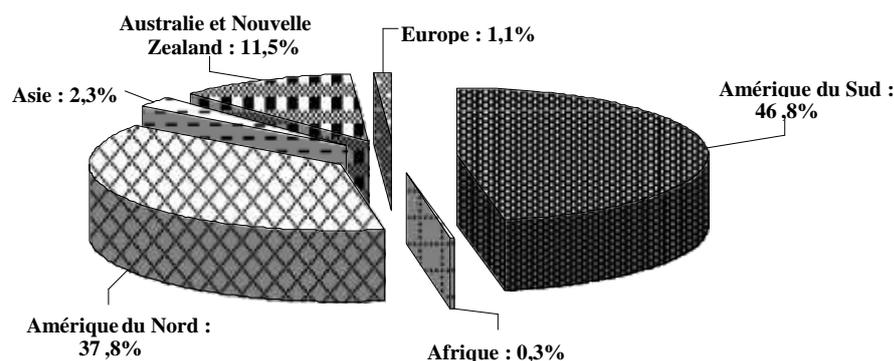
Le semis direct est un système conservatoire de gestion des sols et des cultures, c'est une technique culturale simplifiée basée sur l'introduction directe de la graine dans le sol sans

aucun travail du sol (Seguy *et al*, 2001). Les caractéristiques physiques du sol favorables au développement des cultures sont obtenues uniquement par l'activité biologique du sol (racines, animaux, micro-organismes) et par l'action du climat et préservées par un couvert permanent.

Le semis direct s'est généralisé en Amérique du Nord sur des sols vulnérables après avoir subi de lourds dégâts dus au climat. Ces sols ont connu des problèmes d'érosion surtout après les tempêtes de poussières qui ont balayé le pays dans les années 1920.

Selon Derpsch et Friedrich (2008), la prévalence de cette nouvelle technique en Amérique du nord et du sud est très importante (37,8% et 46,8% respectivement), alors qu'en Afrique, la prévalence ne dépasse pas 0,3% (très faible pourcentage) (Figure 8).

C'est aussi le cas de l'Algérie, le développement du semis direct étant très faible par rapport au travail classique du sol. Cela soulève de nombreuses interrogations sur les raisons et les conditions qui empêchent la diffusion et le développement de cette technique au niveau de nos zones de productions céréalières.



**Figure 8** : Répartition des surfaces en semis direct dans le monde.

Source : Derpsch et Friedrich, (2008).

### II. 3. 2. 1. Matériels utilisés

Comme la technique de semis direct consiste à mettre en place la graine dans le sol sans aucune perturbation de la structure initiale du sol, cette nouvelle pratique supprime toutes les machines agricoles citées précédemment pour le travail conventionnel et le travail réduit.

Le semis est réalisé directement par le passage d'un semoir spécial de semis direct, Ce semoir est généralement plus lourd, son mode d'action se limite au travail de la zone où sera placée la graine. Aucun outil n'est installé devant l'unité de semis (il y'a aucune forme de préparation du sol), où l'ouvre-sillons se déplace dans un sol intact en coupant lui-même les résidus de culture et le sol.

Le semoir de semis direct assure les opérations suivantes :

- Préparation de la ligne de semis : à l'aide des coutres de forme circulaire en acier, ils permettent de couper et dégager les résidus et d'ouvrir le sol pour diminuer au maximum la résistance du sol non travaillé sur les éléments d'ouverture, ces coutre doivent être ajustés pour travailler à la même profondeur que le semis.
- La mise en place des graines par l'ouvre-sillon : cet organe est responsable de l'ouverture de sillon, dans lequel la graine sera déposée, le type d'ouvre-sillon le plus courant est le double-disque et le double-disque décalé.
- Fermeture de sillon par les roues tasseuses : ces organes assurent la fermeture du sillon après le dosage de la semence au fond des sillons (profondeur de semis), avec un certain tassement du sol pour assurer le contact sol-graine nécessaire.

Les sols les plus adaptés sont ceux qui facilitent le semis et le développement des plantes. Ainsi les sols de texture moyenne à grossière permettent une bonne germination et une bonne installation des céréales (Almaric *et al.*, 2008).

## II. 4. Conclusion

Cette diversité des techniques culturales utilisées pour la mise en place des grandes cultures, dont les céréales, reste un gain positif pour l'agriculteur. Il peut choisir la méthode la plus appropriée pour lui économiquement, ainsi pour sa terre et les caractéristiques de la région dans laquelle il est présent (caractéristiques pédoclimatiques). Mais en même temps cette diversité peut être négative et soulève plusieurs questions pour les agriculteurs. Au fil de l'expérience, certaines lacunes et dangers sont apparus sur le terrain, ce qui a incité les agriculteurs à trouver les moyens les plus appropriés pour parvenir à une agriculture durable avec un minimum de dommages.

Cela nécessite une comparaison sérieuse et réelle entre les effets de ces techniques culturales sur la relation de base « sol-plante » à bien des égards. C'est ce qui représente l'objectif du prochain chapitre.

## Chapitre III : Les effets pédologiques, agronomiques et économiques des différentes techniques de préparation du sol

### III. 1. Introduction

Le développement des techniques culturales utilisées dans les grandes cultures, en particulier les céréales, a ouvert de nombreuses questions sur les avantages, les inconvénients et leurs mauvaises utilisations à court et à long terme. Cela a laissé l'agriculteur perplexe sur la façon de choisir et d'utiliser correctement l'une de ces méthodes.

La comparaison entre ces techniques culturales comprend plusieurs axes, dont ceux concernant le sol et les changements qui affectent ses caractéristiques, ainsi que la réflexion de ces changements sur la croissance et le développement des céréales. La comparaison doit également être environnementale et surtout économique, ce dernier représente l'axe le plus important pour l'agriculteur algérienne (temps, énergie, dépenses...).

Dans ce chapitre, nous montrons quelques comparaisons nécessaires qu'il faut noter entre les trois techniques culturales (travail conventionnel, travail minimum et le semis direct) et dans des différentes conditions d'application présentées ci-dessous.

### III. 2. Effet sur les résidus de la culture précédente

Le travail conventionnel, par son degré plus élevé de perturbation du sol et de son faible pourcentage de couverture par les résidus (TC laisse généralement à la surface du sol moins de **10 %** de résidus après le semis (**Vanasse et al., 2012**), où le labour traditionnel enfouit les résidus de culture de manière homogène sur la couche de sol labourée. Cependant, le travail conventionnel est reconnu pour contribuer fortement aux processus d'érosion des sols (**Pimentel et al., 1995**).

Par contre, le travail réduit est quant à lui une méthode moins intensive que le travail conventionnel. Sans retourner le sol complètement comme le fait la charrue, les outils de travail réduit assurent plutôt une incorporation partielle des résidus de culture tout en fragmentant et pulvérisant les gros agrégats de sol (**Laverdière, 2005**). Le travail réduit laisse normalement **30 %** et plus de résidus à la surface du sol après le semis, ce qui lui permet de réduire les phénomènes d'érosion du sol comparativement au travail conventionnel (**Vanasse et al., 2012**). Alors que le semis direct est reconnu pour son absence totale de travail du sol, il peut entraîner une couverture de résidus allant jusqu'à **90 %** (**Laverdière, 2005**).

Puisque le travail réduit et le semis direct sont des pratiques culturales laissant une plus grande quantité de résidus en surface, de nombreuses études ont prouvé qu'il pouvait en résulter une augmentation de la maladie « fusariose de l'épi ».

Les travaux de **Dill-Macky et Jones (2000)** rapportent que l'incidence et la sévérité de **la fusariose** ont été plus importantes dans les parcelles de blé en travail réduit et en semis direct que dans les parcelles sous travail conventionnel et ce, peu importe le précédent cultural. Plusieurs auteurs expliquent ces résultats par le fait que l'enfouissement des résidus de la culture précédente par le labour réalisé en travail conventionnel, permet la diminution du risque de dispersion de l'inoculum de *F. graminearum* par le vent ou la pluie.

### **III. 3. Effet sur la structure du sol**

La technique conventionnel a pour objectif d'assurer une bonne structure du sol à travers une action mécanique, une structure poreuse et bien aérée, afin d'avoir un bon lit de semence. Mais dans le cas d'une pratique exigeante en travail, de nombreux inconvénients peuvent apparaître. Parmi ces inconvénients, la création d'une semelle de labour. Cette dernière empêche par la suite la pénétration des racines et l'infiltration de l'eau dans le sol en profondeur, et même parfois la formation de la croûte de battance en surface dans le cas des sols battants.

L'amélioration de la structure du sol se situe à plusieurs niveaux, le non travail du sol contribue tout d'abord à protéger le sol des accidents structuraux. La structure du sol se modifie progressivement pour atteindre un profil cultural continu après quelques années.

Pour le semis direct, la couverture végétale permanente protège le sol contre l'érosion éolienne et/ou hydrique et même contre l'érosion mécanique qui se caractérise par la perte directe de terre engendrée par les techniques culturales. Le couvert végétal maintenu avec la technique du semis direct, permet de protéger le sol contre le rayonnement du soleil qui assèche le sol, et engendre une forte amplitude thermique et dont les UV sont nuisibles aux organismes biologiques (**Seguy, 2009**).

Un autre problème, très important, à prendre en considération est celui relatif à l'aération du sol qui est fortement réduit lors de l'application du semis direct, ce qui n'est pas sans effet sur le développement de la macrofaune et microfaune du sol. Cette macrofaune, plus particulièrement les vers de terre, est indispensable à la restructuration nécessaire du sol pour une bonne germination et surtout une bonne levée.

### **III. 4. Tassement du sol**

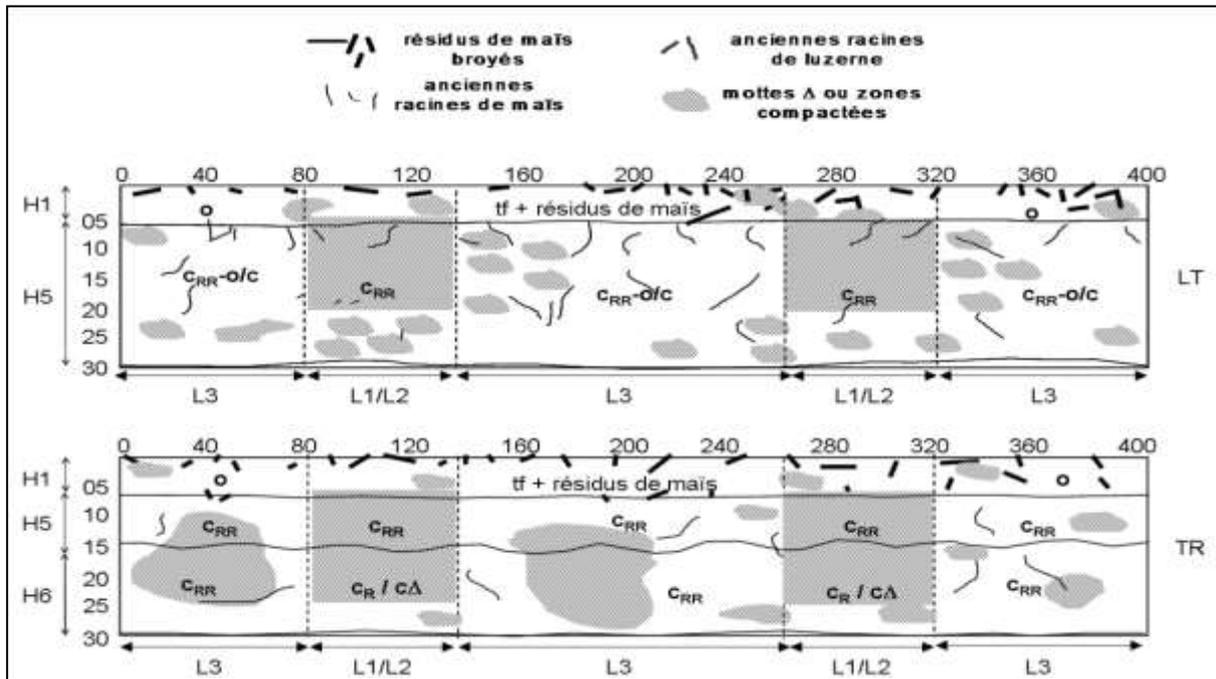
La structure d'un sol agricole est caractérisée par des zones aux caractéristiques physiques différentes au sein du profil ; on distingue essentiellement des zones non tassées constituées de mottes d'état interne appelées zones gamma ( $\Gamma$ ) avec une rugosité importante et porosité visible, des zones tassées constituées de mottes d'état interne appelées zones delta

( $\Delta$ ) présentant une porosité très faible, non visible à l'œil. La surface relative des zones tassées ou non tassées permet de juger de l'effet des techniques culturales sur l'état structural des couches de sol travaillées (**Manichon et Roger-Estrade, 1990**).

Pour la technique conventionnelle après labour, la structure d'un sol est composée de l'assemblage de sol fin, de mottes décimétriques (compactées ou non), de résidus de cultures répartis le long de la bande de labour, de vides et de fissures issus de l'action de retournement, de déplacement et de fragmentation du sol du à la charrue sur la couche labourée (**Roger-Estrade et al., 2004**).

Le non travail du sol est plus favorable à la formation d'agrégats grâce à l'apport de matière organique fraîche en surface, ce sont ces agrégats et la cohésion entre eux qui font la bonne structure d'un sol agricole. Il favorise aussi la formation du "mulch" qui augmente la densité de la couche arable, ce qui a pour conséquence d'améliorer la résistance du sol au tassement et de limiter la battance, c'est-à-dire le fait de ne plus travailler le sol et d'implanter une couverture végétale ou d'avoir un "mulch" permet une meilleure stabilité du sol. La compaction ou le tassement de certains types de sols sont d'autant plus limités.

D'après **Vian et al., (2009a)**, Il existe une légère différence entre le labour traditionnel et le travail réduit concernant la répartition des zones compactées au sein du profil cultural (figure 9). Dans le labour, on remarque que les mottes compactées se retrouvent hors passage de roues, en raison du retournement du sol. Par contre, dans travail réduit (par le chisel), les mottes delta restent majoritairement localisées sous les passages de roues des engins agricoles car le chisel a une action plus limitée sur le déplacement et la fragmentation de ces zones compactées que la charrue. Et qu'on observe une prise en masse progressive de l'horizon (H6) qui n'est plus fragmenté mécaniquement.



**Figure 9 :** Représentation schématique des profils culturaux des modalités LT (labour traditionnel) et TR (travail réduit) observés en mars 2006 (L3 : hors passage de roues / (L1/L2) : les passages de roues).

Source : Vian *et al.*, 2009b

Même si les sols non travaillés sont moins sensibles aux risques de tassements, ils n'en sont pas exemptés après un certain temps qui peut varier, en fonction de la texture du sol, d'une à trois années. Et dans ce cas, les zones tassées sont beaucoup plus durables qu'en situation labourée. Avec le labour qui fragmente la terre (par l'action de la charrue), on peut faire disparaître les zones tassées facilement et rapidement. Par contre en non travail du sol, les tassements sont beaucoup plus rémanents. Il faut attendre l'action des lombrics et celle du climat pour reconstituer la porosité, la manière qui prend beaucoup de temps.

**Bohlen *et al.*, (1995)** a montré que l'arrêt du labour s'accompagne d'une augmentation des densités lombriciennes ce qui favorise la macroporosité d'origine biologique (**Kay et Vanden Bygaart, 2002**), mais l'augmentation de la porosité créée par les vers de terre ne compense pas la perte de porosité liée au tassement. Contrairement au labour qui permet d'effacer la mémoire du sol, où l'outil le plus efficace pour restructurer un sol compacté est bien la charrue.

Les zones tassées affectent également la vie des micro-organismes du sol, les micro-organismes du sol au sein de ces zones compactées seraient confrontés à des conditions anoxiques qui limiteraient leur croissance et diminueraient leur capacité à oxyder la matière organique du sol (**Aon *et al.*, 2001 ; McGill, 2007**).

### **III. 5. Effet des techniques de travail du sol sur les micro-organismes**

Les micro-organismes du sol sont des acteurs majeurs des grandes fonctions assurées par le sol, en particulier la fourniture d'éléments minéraux pour les cultures via la minéralisation de la matière organique (**Hill *et al.*, 2000**).

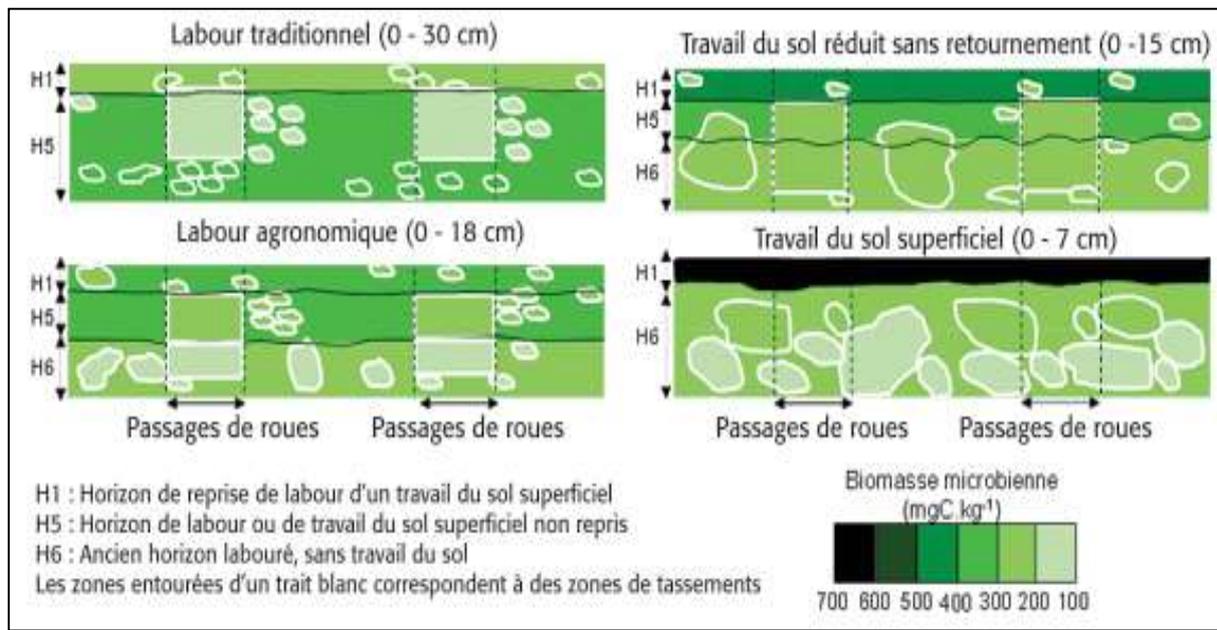
La répartition de la biomasse microbienne se fait suivant la profondeur d'enfouissement des résidus de cultures et la présence de zones compactées. Elle se développe préférentiellement au sein des horizons où les résidus de cultures sont enfouis (**Andrade *et al.*, 2003**).

D'après les résultats de **Vian (2009b)** représentés par la figure 9, il est clairement montré que dans les profils de sols labourés, la biomasse microbienne est distribuée de façon plus homogène sur la profondeur du labour (entre 5 et 30 cm pour le labour traditionnel et 0 à 20 cm pour le labour agronomique). Par l'enfouissement des résidus de cultures, le travail du sol crée (en profondeur) des conditions favorables à la croissance microbienne et stimule l'activité de minéralisation des résidus de culture et de la matière organique du sol (**Young et Ritz, 2000 ; Pekrun *et al.*, 2003 ; Grigera *et al.*, 2007**).

Pour le travail sans labour, la biomasse microbienne présente un gradient vertical, où elle se concentre dans le premier horizon de sol (H1), car les techniques de conservation permettent de localiser la matière organique en surface (**Almaric *et al.*, 2008**). Dans les profonds (H5), l'enfouissement partiel des résidus de culture limite la surface de contact entre les substances organiques et les particules minérales du sol, ce qui réduit la vitesse de minéralisation de ces résidus (**Balesdent *et al.*, 2000**).

C'est ce qui prouve que la quantité des micro-organismes et leur activité sont mises en évidence en fonction de la stratification de la matière organique dans le sol.

Cette répartition est également modifiée par le niveau de compaction (ce qu'on a déjà mentionné) généré par les différentes techniques de travail du sol (figure 10). Ainsi, la biomasse microbienne diminue au sein des zones compactées (mottes d'état interne  $\Delta$ ), notamment dans les horizons fragmentés par les outils, où les résidus de cultures ont été enfouis.



**Figure 10 :** Influence de la profondeur et du type de travail du sol sur la biomasse microbienne et sa répartition au sein du profil cultural (0-30 cm).

Source : Bonthier et al. 2015

Selon Xanxo *et al.*, (2006), Le semis direct permet de conserver les niveaux élevés de matière organique qui sont fondamentaux pour conserver la capacité potentielle de ces sols.

De manière générale, les techniques de conservation des sols favorisent l'augmentation de l'activité biologique du sol à travers la concentration des matières organiques en surface, elle favorise sa décomposition et sa minéralisation par voie biologique. Et aussi par l'absence de retournement et la réduction du travail du sol qui réduisent le stress mécanique du milieu et minimisent la destruction des micro-habitats.

### III. 6. Effet sur la pression des mauvaises herbes

La composition et l'évolution du stock semencier des mauvaises herbes dans une parcelle est le résultat d'interactions très complexes entre le sol, le climat et les techniques culturales pratiquées.

Une expérience a été menée par **Sosnoskie *et al.*, (2006)** sur des travaux de sol implantés depuis 35 ans et les résultats sont intéressants. La composition et la taille de la banque de semences de mauvaises herbes dans le sol étaient plus importantes en semis direct qu'en travail réduit ainsi qu'en travail conventionnel. L'abondance et la diversité des espèces de mauvaises herbes sont généralement plus importantes sous des pratiques de conservation des sols que sous la pratique de travail conventionnel.

Une autre étude intéressante a été réalisée par **Sans *et al.*, (2011)** sous un système de production biologique, les résultats sont très clairs, le travail réduit a permis aux graines de mauvaises herbes produites durant les années précédentes de rester dans la couche superficielle du sol, conduisant ainsi à un plus grand potentiel de germination et de levée.

Tous ces résultats confirment qu'une perturbation moindre de la couche arable du sol combinée à la présence de résidus de culture en surface favorise le piégeage des semences facilement dispersées par le vent, et entraînerait un potentiel d'établissement et de germination accru.

La dynamique des populations de mauvaises herbes est différente en semis direct de celle qui prévaut en système conventionnel. Sur les parcelles de semis direct, on peut remarquer une augmentation de certaines graminées annuelles et même l'apparition de bisannuelles, ce qui entraîne un risque de concurrence avec la culture envisagée.

Nous pourrions donc affirmer que par l'effet de l'absence de retournement du sol (lutte mécanique) lors des techniques simplifiées, l'intervention par une lutte chimique s'impose ; c'est-à-dire l'agriculteur est obligé d'utiliser herbicides chimiques (désherbant total) contre ces mauvaises herbes avant l'opération de semis.

De manière générale, le labour classique étant considéré comme une pratique efficace de maîtrise des adventices, alors que l'adoption des techniques sans labour pose le problème de la maîtrise des adventices et finalement celui des performances des cultures (rendement et qualité).

### **III. 7. Effet sur la germination et la levée des céréales**

Dans la plupart des cas, un mauvais rendement à la récolte est l'extension d'une mauvaise germination et une mauvaise levée.

La technique de semis direct peut affecter positivement le taux de levée, ce qui pourrait s'expliquer par une faible profondeur de semis ; contrairement à la technique conventionnelle, où la profondeur de semis est plus importante vue la structure légère et poreuse à la surface du sol, où les graines doivent être positionnées dans les premiers

centimètres du sol pour avoir une meilleure levée par la suite. L'effet du semis direct sur la levée des cultures est aussi positif dans les mauvaises conditions climatiques (stress hydrique ou de sécheresse) comparativement au travail classique. Selon **Amara et al., (2014)**, la levée du blé est meilleure au niveau des parcelles de semis direct comparativement aux celles du travail minimum et du travail conventionnel, les taux de levée obtenus sont respectivement 66 plants.m<sup>-2</sup> ; 62 plants.m<sup>-2</sup> ; 59 plants.m<sup>-2</sup>.

Dans les bonnes conditions climatiques, avec un bon lit de semence, le labour semble entraîner une cinétique de levée plus rapide et plus homogène au départ.

### **III. 8. Effet sur les racines**

Les caractéristiques telles que la croissance, la distribution et le fonctionnement des racines sont des aspects importants du développement de la plante, car la densité des racines est le reflêt de la densité foliaire, les deux sont interdépendantes (avec une certaine limite). La structure du sol y joue un rôle primordial sur le développement des racines.

Un sol mal structuré provoque cependant un accroissement de la pression du sol sur les parois cellulaires ce qui réduit la vitesse d'élongation racinaire et accroît leur diamètre (**Demissy et Farque, 1997**).

Pour cela la porosité du sol ne doit être ni trop grande ni trop faible, un optimum est à rechercher en relation avec le type de racines. Il apparaît que le labour a des incidences multiples et complexes sur les propriétés physiques du sol et plus particulièrement sur sa porosité.

Cependant celles qui semblent jouer le rôle le plus important ont trait aux modifications de structure et de porosité quantitative et qualitative, cette dernière joue un rôle important dans les échanges gazeux et hydriques (**Lahlou et al., 2005**) par l'amélioration de taux d'infiltration des eaux de ruissèlement et les préservées dans la zone des racines. Ces caractéristiques agissant en effet sur l'enracinement des végétaux, le labour entraîne, de ce seul fait, une amélioration du système racinaire des végétaux, avec tout ce que cela comporte pour leur alimentation hydrique et minérale et donc les rendements agricoles.

Les résultats obtenus par **Amara et al., (2014)** montrent clairement que la densité des racines est plus importante au niveau des parcelles travaillées conventionnellement (1,1 g.dm<sup>-3</sup>), comparativement au travail minimum (0,81 g.dm<sup>-3</sup>) et au semis direct (0,64 g.dm<sup>-3</sup>).

Bien que la méthode classique de préparation du sol ait un effet positif sur la croissance et le développement des racines, cette dernière aide la partie aérienne de la plante à se développer correctement pour avoir un bon rendement. Néanmoins, de nombreux chercheurs ont constaté qu'une culture mal enracinée pourra produire un bon rendement s'il y

a de bons apports d'eau par les pluies ou l'irrigation (des liaisons très étroites ont été mises en évidence entre porosité, développement racinaire et rendements).

### III. 9. Effet sur les rendements

Plusieurs comparaisons ont été faites sur la contribution des techniques culturales à améliorer les rendements des céréales, dans des conditions différentes.

Concernant la productivité, plusieurs travaux signalent que le travail minimum et le semis direct sont des systèmes généralement moins productifs en comparaison au travail de sol classique.

Selon les résultats obtenus par **Amara et al., (2014)** sur l'effet de la technique culturale sur le développement du blé dur à l'institut technique des grandes cultures d'Oued-Smar, les rendements sont meilleurs dans les parcelles labourées (50,06 q.ha<sup>-1</sup>) comparativement au travail minimum et le semis direct où les rendements sont 35,7 q.ha<sup>-1</sup> et 36,19 q.ha<sup>-1</sup> respectivement.

Une autre recherche réalisée en Suisse a démontré qu'une culture de blé biologique a subi une perte de rendement de **14 %** en travail réduit comparativement au travail conventionnel (**Berner et al., 2008**).

Les travaux de **Hammel (1995)** ont mesuré l'impact de trois techniques culturales depuis 10 ans sur une culture de blé d'hiver, dans l'état de l'Idaho aux États-Unis ; les résultats ont montré que le rendement moyen réalisé, sous la technique de semis direct pendant quatre saisons de croissance, a diminué de **22 %** par rapport au travail conventionnel et **15 %** par rapport au travail réduit. Les auteurs ont justifié ces résultats par la croissance ralentie des racines due à une compaction importante de la couche de surface du sol dans les systèmes de conservation.

Dans l'état de l'Oregon, toujours aux États-Unis, **Camara et al., (2003)** ont étudié l'effet du travail de sol sur la productivité du blé d'hiver durant quatre grandes périodes : de 1944 à 1951 ; de 1952 à 1961 ; de 1962 à 1987 et de 1988 à 1997. Durant les quatre périodes, le rendement du blé a été significativement plus élevé en travail conventionnel. Les auteurs ont expliqué cette baisse de rendement en système de conservation des sols par la répression inefficace du brome des toits (*Bromus tectorum L.*), une mauvaise herbe invasive problématique dans la région d'Oregon. On peut considérer donc le labour classique comme une pratique efficace de maîtrise des adventices.

Par contre **Larney et Lindwall (1994)** ont noté que la productivité du blé d'hiver était supérieure en semis direct comparativement au travail réduit et au travail conventionnel

durant trois années sur huit, années les plus sèches. Des rendements significativement supérieurs ont toutefois été obtenus en travail conventionnel durant l'année la plus humide. Ce qui correspond aux résultats trouvés par **Vita et al., (2007)** en Italie (au site expérimental situé dans la ville de Foggia) ; les rendements ont été plus élevés en semis direct qu'en travail conventionnel deux années sur trois, où les précipitations ont été plus faibles durant ces deux années comparativement à la troisième. Selon les auteurs, l'efficacité supérieure du semis direct semble attribuable à une plus grande disponibilité de l'eau du sol combiné à une évaporation plus faible comparativement au travail conventionnel.

Au nord de la Chine, dans un climat plus aride que le nôtre et durant 15 années, **Li et al., (2007)** ont étudié l'impact du semis direct comparativement au travail de sol conventionnel sur un blé d'hiver. Ils affirment encore une fois que durant les années sèches, la technique de semis direct est plus productive que le travail de sol classique (travail conventionnel), par contre dans les années humides, des faibles différences entre les traitements ont été observées.

Les auteurs expliquent ces résultats par un changement de la structure du sol dû à l'activité microbienne dans le semis direct, entraînant ainsi une meilleure capacité à retenir l'eau et à la rendre disponible pour la culture. En moyenne, ils ont observé une augmentation de rendement de 19,1 % en semis direct et les différences ont été significatives 6 années sur 14. Cette augmentation de rendement associée au semis direct a été plus faible durant les cinq premières années (9,2 %) et s'est ensuite chiffrée à 24,5 % pour les neuf années subséquentes. Ce constat prouve que les effets bénéfiques des pratiques de conservation des sols augmentent avec le temps.

Une autre recherche menée par **Halvorson et al., (1999)** à Dakota du Nord (États-Unis) sur une période de 12 ans, laisse croire que l'intensité du travail de sol peut être ramenée au niveau du travail réduit et du semis direct sans affecter les rendements du blé. Ils ont démontrés que le rendement du blé en travail minimum est de 19,68 q.ha<sup>-1</sup> et en semis direct 20,22 q.ha<sup>-1</sup> a été supérieur de 8,5 % 10,9 % respectivement par rapport au rendement mesuré en travail de sol conventionnel 18,01 q.ha<sup>-1</sup>.

En techniques de conservation des sols, les accidents liés aux conditions d'implantation et aux états structuraux peuvent avoir une influence négative sur le rendement des céréales (**Barthelemy et Boisgontier 1990, Caneil et Bodet 1991**). Ceci est confirmé aussi par **Reinhard et al., (2001)** sur leur essai de semis direct, en moyenne sur cinq années, et avec la même variété ; les rendements du blé sont plus élevés de 5.5% en semis direct, mais les rendements du semis direct ont été plus faibles que ceux du labour lorsque la récolte du

précédent cultural, betterave, s'est déroulée dans de mauvaises conditions (le sol tassé et compacté).

Nous constatons généralement, que le rendement des céréales blé, n'est pas seulement affecté par la technique culturale, mais également par d'autres facteurs externes (liés au sol, au climat...etc.) et par les caractéristiques génétiques de variété du blé utilisée, cela explique le contraste de certains résultats malgré l'application de la même technique culturale.

### **III. 10. Effet de la qualité de l'eau**

Parmi les impacts environnementaux de la technique de conservation du sol tel que le semis direct, la forte diminution des lixiviations d'azote (la minéralisation de l'azote contenu dans les matières organiques) est ralentie. La présence d'un couvert végétal vivant pendant la période hivernale permet donc, en complément des techniques de conservation des sols, de limiter la lixiviation des nitrates dans le sol pendant les périodes pluvieuses de l'hiver (**Viaux, 1999**).

Ces techniques pourraient être un choix envisageable pour préserver la qualité de l'eau dans le sol en diminuant le risque de pollution par les nitrates (des résultats similaires peuvent être obtenus pour le phosphore).

Mais dans le cas de l'application de la technique de conservation, l'élimination des mauvaises herbes avant et après, et pendant la culture est faite avec les herbicides, substances chimiques relativement dangereuses pour la santé humaine et celle des écosystèmes. Parmi les herbicides les plus utilisés on trouve le glyphosate (N-phospho-méthylglycine), c'est un phytocide non-sélectif, systémique et poste-émergent, généralement on le trouve sous la forme d'un sel couplé à l'isopropylamine, un surfactant facilitant son transport à travers la cuticule (**Relyea, 2005**). Ce désherbant bloque la synthèse des acides aminés aromatiques perturbant ainsi la croissance et le développement des adventices, jusqu'à leur mort. Il est aussi la pièce centrale de la stratégie de développement des biotechnologies végétales, puisque près des trois-quarts des cultures OGM actuelles sont modifiées pour tolérer le glyphosate.

Il existe des contradictions dans les résultats expérimentaux sur cette problématique, certains chercheurs démontrent que la simplification du travail du sol, en particulier le semis direct favorise une diminution de la disponibilité des pesticides et donc de leur pollution. D'autres concluent que le travail simplifié et labour ont des niveaux de contamination identiques. Comme certains d'entre eux voient que la fuite de matières actives dans le milieu serait réduite en agriculture de conservation car la présence de couvert végétal augmente l'adsorption et la dégradation des matières actives. Il est intéressant de noter que les

conséquences des produits phytosanitaires sur l'environnement sont directement liées au profil toxicologique de chaque matière active.

Selon **Labad (2018)**, le risque de diffusion de la matière active du glyphosate dans le sol est maintenue même à faible doses (l'intensité des résidus dans le sol est liée à la dose la plus importante) vu la persistance de cette molécule dans l'environnement. Et dans le cas où ces molécules ne sont pas dégradées, il est possible qu'elles soient transportées en profondeur par les pluies et la possibilité de contamination des eaux souterraines.

### III. 11. L'émission de gaz à effet de serre

Selon **la FAO (2001)**, l'augmentation de la concentration atmosphérique en gaz à effet de serre contribue au processus de réchauffement climatique et que l'agriculture serait responsable de 30% des émissions des gaz à effet de serre dans le monde, dont 25% des émissions de CO<sub>2</sub> et 70% des émissions de NO<sub>2</sub>.

Selon **AFOCG (2011)**, l'activité agricole participe à l'émission de gaz à effet de serre qui accélèrent le changement climatique, par :

- Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) : formé lors d'une combustion et de la respiration des organismes.
- Le méthane (CH<sub>4</sub>) : la production de méthane est d'origine digestive (éruptions et déjections) et fermentation de la matière organique en milieu anaérobie.
- Le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) : formé lors de la transformation de l'azote du sol en azote disponible (Nitrates, Nitrites).

L'agriculture, elle-même, permet aussi des compensations sur les effets de serre où les végétations fixent en permanence le carbone de l'atmosphère. Concernant le carbone sous forme de matière organique, il peut être également stocké dans le sol à long terme.

En parlant de techniques culturales, selon de nombreux auteurs, l'agriculture de conservation est l'une des meilleures voies pour lutter contre l'effet de serre (**Reicosky, 2001, Agu et al., 2000**). Cette réduction se présente sous trois formes :

- La suppression du labour permet un gain de temps considérable, donc un gain en énergie directe appréciable, ce dernier réduit à son tour les émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.
- L'arrêt du labour permet une augmentation du stockage du carbone dans le sol.
- La diminution de la vitesse de minéralisation, suite à l'arrêt du labour, permet de réduire considérablement ces émissions de CO<sub>2</sub>, ce gaz est le produit final issu (entre autres) de la décomposition des matières organiques (**Reicosky, 2001**), car la décomposition de la

matière organique dans le sol et la respiration des micro-organismes du sol entraînent des émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.

Selon **Amara (2007)**, il serait une erreur de considérer la suppression du labour comme un objectif en soi pour réduire les besoins en énergie, étant donné les avantages agronomiques de cette opération, il ne peut être ignoré. D'autres auteurs tels que **Raper et al., (2000)**, proposent de diminuer la consommation énergétique de labour autrement, sans le supprimer, ils insistent toujours sur le maintien de cette opération, mais avec une profondeur réduite, cette décision est validée par d'autres chercheurs comme **Gao et al., (2015)**.

Il est intéressant de noter que le pouvoir de réchauffement global (PRG) de CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O sont supérieurs à celui de CO<sub>2</sub>, la différence atteint une valeur 25 et 298 fois supérieur respectivement (**AFOCG, 2011**). Réduire donc le réchauffement climatique par l'atténuation des émissions de ces deux gaz aura un impact positif plus important sur l'écosystème. Les émissions de NO<sub>2</sub> pourraient être augmentées par les techniques de conservation telle que le semis direct, mais peu de données sont disponibles dans ce domaine et les avis ne sont pas vraiment unanimes (**Guedez 2002, Robert 2001, Seysen 2001**). De même, en ce qui concerne les émissions de CH<sub>4</sub>, peu d'études ont été réalisées à ce jour.

A titre d'exemple, pour réduire les émissions de N<sub>2</sub>O, il faut faire d'abord les analyses du sol pour réaliser par la suite un bilan de fertilisation, le but est de mieux gérer la fertilisation azotée en fractionnant les apports. On peut le réduire aussi par l'utilisation de légumineuses dans les rotations pour améliorer la disponibilité de l'azote dans le sol pour les cultures suivantes, car la fixation d'azote par les légumineuses est le principal moyen naturel par lequel l'azote atmosphérique est ajouté au sol.

### **III. 12. Analyse des besoins en énergie**

L'agriculture, comme toutes les autres activités humaines, consomme de l'énergie pour donner en fin un certain rendement de la culture pratiquée. Cette consommation se reflète sous de nombreuses formes, parmi elles le fonctionnement des véhicules et des machines agricoles au moment de la préparation du sol. Dans ce cas, la consommation de l'énergie est liée principalement à la technique culturale choisie, c'est-à-dire au taux d'utilisation des tracteurs.

L'une des premières raisons de l'introduction des nouvelles techniques de mise en place des grandes cultures est une raison économique. En effet la technique dite conventionnelle est une technique énergivore. Au niveau de cette technique le labour à lui seul, selon plusieurs chercheurs consomme plus de 70 % de l'énergie totale pour la mise en

place d'une grande culture ; d'où la qualification des nouvelles techniques par les techniques culturales sans labour (TSL). Nous reproduisons ci-dessous quelques travaux faisant ressortir les différences de consommation en temps et en énergie dans de différentes conditions.

### **III. 12. 1. La consommation de l'énergie par travail du sol.**

Le tracteur agricole est le transformateur principal de l'énergie (énergie chimique) utilisée pour la réalisation des différents travaux mécaniques agricoles.

La consommation de l'énergie par le tracteur lors d'une activité agricole est directement liée à :

- Les caractéristiques du sol et leur état au moment de la pratique, les besoins en énergie sont plus importants lorsque l'état initial correspond à un état continu et compacté.
- La nature des travaux à exécuter, le choix de la machine, la taille de l'outil et la combinaison des vitesses qu'elle correspond.
- Certaines caractéristiques du tracteur lui-même comme le rendement du moteur et celui de la transmission, les dimensions des pneus et leur pression de gonflage et la répartition des masses.

Selon **CNEEMA (1979)**, les origines principales des excès de consommation de l'énergie sont :

- Réglage et entretien du moteur : ils augmentent la consommation du carburant entre 8% et 12%.
- Réglage et entretien des outils : ils augmentent la consommation du carburant entre 2% et 10%.
- Une vitesse inadaptée : elle augmente la consommation du carburant entre 3% et 7%.
- Un excès de glissement : il augmente la consommation du carburant entre 3% et 7%.

D'après **Amar M, (1994)**, lorsque le patinage passe de 10% à 25%, cela signifie qu'en développant la même puissance, le tracteur exécute 17% de travail en moins, tout en consommant autant de carburant.

### **III. 12. 2. Analyse comparée de la consommation en carburant des différentes techniques.**

Nous reproduisons ci-dessous quelques travaux faisant ressortir la différence de consommation en temps et en énergie des trois principales techniques de préparation du sol ou de mise en place des cultures dans de différentes conditions de sol.

Selon une étude réalisée par **Barthélemy *et al.***, en **1992** sur la consommation du carburant et du temps, pour les trois techniques culturales, en fonction de types du sol (texture). Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau 1 suivant :

**Tableau 1 :** Temps et la consommation du carburant pour les différents types de sol et des itinéraires techniques.

Type de sol	Labour		Travail superficiel		Semis direct	
	Temps (h/ha)	Carburant (L/ha)	Temps (h/ha)	Carburant (L/ha)	Temps (h/ha)	Carburant (L/ha)
<b>Argileux</b>	2h50 à 3h30	60-80	0h50 à 1h10	15-25	0h20 à 0h35	7-9
<b>Limon-argile</b>	2h10 à 2h50	30-45	0h50 à 1h00	12-16	0h20 à 0h35	6-9
<b>Limon-battant</b>	2h10 à 2h30	30-38	0h50 à 1h00	12-15	0h20 à 0h35	6-8
<b>sol caillouteux</b>	2h50 à 3h30	35-45	0h50 à 1h50	10-20	0h20 à 0h40	6-8

Source : **Barthélemy *et al.* 1992**

Ce tableau fait ressortir clairement le temps de réalisation de la mise en état du sol et la consommation en carburant. Nous constatons que le labour est en effet la technique qui consomme le plus de temps et de carburant. Il serait peut être intéressant de noter qu'il s'agit de l'énergie directe. Si le semis direct consomme beaucoup moins d'énergie directe, l'utilisation d'une quantité non négligeable en herbicide (énergie indirecte) est nécessaire. Il faudrait rappeler que le prix des herbicides est à prendre en considération.

Une autre étude réalisée par **Frédérie. T. (2005)** sur quinze sites différents a trouvé aussi la même évolution en consommation de carburant et de temps (hors récolte), pour la mise en place d'une céréale (blé dur). Ces résultats sont résumés dans le tableau 2, ci-dessous :

**Tableau 2 :** Consommation de fuel (L/ha) et le temps de travail (min/ha) hors récolte pour la mise en place d'une céréale (Blé dur).

	Labour		Technique culturale simplifiée		Semis direct sous couvert	
	Temps (min/ha)	Carburant (L/ha)	Temps (min/ha)	Carburant (L/ha)	Temps (min/ha)	Carburant (L/ha)
<b>Moyenne</b>	<b>191</b>	<b>52</b>	<b>133</b>	<b>37</b>	<b>103</b>	<b>26</b>
<b>Consommation maximum</b>	233	66	147	45	104	40
<b>Consommation minimum</b>	108	28	104	27	69	16

Source : **Frédérie T. 2005**

L'analyse de ces résultats montrent clairement que les nouvelles techniques culturales dites simplifiées sont toujours justifiées par une consommation très importante de temps et d'énergie de la technique dite conventionnelle.

D'après les résultats de **Barthélemy *et al.*, 1992 ; Frédéric T., 2005**, L'économie en carburant est étroitement liée au temps de traction, plus le temps de traction est réduit, la consommation du carburant est faible. Le gain de temps varie aussi selon le type de sol (Tableau 1).

La simplification du travail du sol peut donc présenter des avantages économiques non négligeables, elles montrent le potentiel de réduction de la consommation en carburant et de temps.

Selon **Rieu (2001)**, plus la simplification est poussée, plus le volume de terre travaillé est faible et, de ce fait, plus le temps de traction nécessaire par hectare est faible.

Une autre étude a été mentionnée par **Jérôme L., *et al.*, (2011)**, sur l'évolution de la consommation du carburant par trois techniques culturales pour la mise en place du blé, les résultats sont illustrés dans le tableau 3 :

**Tableau 3 :** Itinéraires techniques mis en œuvre sur la culture de blé dans l'essai longue durée de Boigneville et utilisés pour l'évaluation des consommations de carburants.

Opérations Culturales Sur le blé	TC	TS	SD	Nombre de passages	Date de passage	Outils utilisés	Puissance du Tracteur	Temps h/ha	Carburant Consommé L/ha
Broyage résidus		X		1	15-oct	Broyeur 4m	145 CV	0,67	15
Labour	X			1	15-oct	Charrue 5 socs portée	150 CV	1,17	32
Préparation Du sol et semis	X			1	15-oct	Herse Rotative Semoir	150 CV	0,67	15
Préparation du sol et semis		X		1	15-oct	Rotavator Semoir	150 CV	0,67	18
Semis			X	1	15-oct	Semoir de SD	130 CV	0,52	11
Désherbage	X	X	X	1	15-févr	Pulvérisateur 24 m / 3000 L	100 CV	0,1	1
Epandage engrais ternaire	X	X	X	1	1-mars	Epandeur Centri 24 m 1200 L	110 CV	0,13	1
Epandage engrais azoté	X	X	X	1	1-avril	Epandeur Centri 24 m / 1200 L	110 CV	0,13	1
Fongicide	X	X	X	2	10-avril 1-juin	Pulvérisateur 24 m / 3000 L	100 CV	0,1	1

**Source :** réalisé par nous même à partir des données de **Jérôme L., *et al.*, (2011)**.

L'analyse de ces résultats montrent que les écarts du temps de réalisation des opérations sont estimés respectivement à 30 min et 1h 25min entre l'itinéraire technique avec labour et ceux avec travail superficiel ou avec semis direct. Pour la consommation du carburant, les écarts sont estimés respectivement à 14 et 36 L/ha/an entre l'itinéraire technique avec labour et ceux avec travail superficiel ou avec semis direct. Ce qui confirme encore une fois que l'économie en carburant est étroitement liée au temps de traction.

Selon **Tebrügge et al., (1997)**, la diminution du temps de traction diminue la consommation de fioul de 40 L/ha pour l'implantation.

Concernant le semis direct, Il est intéressant de noter que les herbicides sont aussi très chers, sans oublier la consommation du carburant et du temps pour les pulvériser (charge totale d'un désherbage chimique est en moyenne de 10 488 DA, selon **ITGC. 2010**), les coûts de désherbage en non-labour sont plus élevés qu'en labour. On constate qu'en non labour, l'investissement dans le désherbage en culture va du simple au double (**Gilet, 2001**).

Donc ce que l'on peut économiser à partir de moins d'énergie directe, on le perd en énergie indirecte pour la lutte contre les mauvaises herbes et les ravageurs.

### **III. 13. Conclusion**

Les techniques de conservation des sols, telle que le semis direct, ont des impacts certains sur l'environnement, sur l'agronomie et sur l'économie. Mais elles doivent être associées à une bonne gestion de la flore adventice dont le développement est en général favorisé.

L'impact de la technique culturale sur le sol et sur la culture céréalière reste instable en changeant les caractéristiques du sol, les conditions de travail et même le climat. Ce qui fait que la filière des céréales reste un domaine de recherche très vaste.

Avoir des meilleurs rendements, objectif principal de l'agriculteur, est principalement lié à la technique culturale à suivre, au regard des changements climatiques et de la dégradation de la qualité et de la fertilité des terres affectées aux céréales, notamment en Algérie, du fait de la mauvaise exploitation pratiquée ces dernières années.

Le choix de la technique culturale permettant d'améliorer la production tout en réduisant les dommages environnementaux, techniques et même économiques, reste l'objectif de la plupart des recherches dans ce domaine.

Développer ces techniques et les utiliser de manière plus rationnelle, avec la sélection de machines et en tenant compte les bons moments d'intervention avec elles, permettraient d'atteindre ces objectifs, ceci nécessite des études plus approfondies sur ces techniques dans des conditions de travail locales. L'Algérie devrait assurer l'autosuffisance en filière des

céréales, compte tenu de l'augmentation continue des factures d'importations des céréales, notamment de blé.

## **Démarche expérimentale**

## Introduction et objectifs de l'expérimentation

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

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

**La première partie** a porté sur l'effet des techniques culturales sur le sol, le développement racinaire et conséquences sur le rendement du blé dur (*Triticum Durum*) et du Bersim (*Trifolium Alexandrinum*). Dans cette partie, nous avons réalisé deux expérimentations à l'ITGC de Oued Smar sur la même parcelle en deux campagnes agricoles consécutives.

Au cours de la première expérimentation, on a analysé les effets de deux techniques culturales, le travail conventionnel et le semis direct, sur l'évolution de l'état structural du sol et les conséquences sur le développement de la culture du Blé dur (*Triticum durum*).

Afin d'atteindre cet objectif, divers paramètres liés au sol (humidité et résistance du sol à la pénétration mécanique) et d'autres paramètres liés au développement de la culture (levée du blé, diamètre et longueur des racines, rendement) ont été mesurés. Un autre facteur important qui a été étudié pour affecter le rendement est la densité de semis, les doses choisies sont 160 kg/ha pour la dose 1 (D1) et 180 kg/ha pour dose 2 (D2).

La deuxième expérimentation a porté sur une analyse des effets de deux techniques culturales, le travail conventionnel et le semis direct, sur l'évolution de l'état structural du sol et les conséquences sur le développement de la culture du Bersim. Afin d'atteindre cet objectif, divers paramètres liés au sol (humidité et résistance du sol à la pénétration mécanique) et d'autres paramètres liés au développement de la culture (hauteur de la plante, développement racinaire et rendement) ont été analysés. Un autre facteur important qui a été étudié pour affecter le rendement est la densité de semis, les doses choisies sont 15 kg/ha pour dose 1 (D1) et 25 kg/ha pour dose 2 (D2). La dose généralement utilisée se situe entre 15 et 30 kg/ha selon les conditions pédoclimatiques de la région, des caractéristiques de la semence et du type de fourrage associé.

**Le 3<sup>ème</sup> axe** de la partie expérimentale s'intéresse aux effets économiques et environnementaux des techniques de préparation du sol, l'objectif de cette étude est d'établir une analyse comparative entre les techniques culturales classiques et simplifiées dans les exploitations à production céréalière active. Il s'agit de comparer la consommation d'énergie par hectare pour l'ensemble des opérations agricoles pratiquées (hors récolte), ainsi que le temps de chantier nécessaire, en tenant compte du choix de l'outil aratoire, matériel de traction, de l'état de la machine, de comprendre les raisons des consommation excessive, et de proposer des solutions. Pour atteindre cet objectif, nous avons réalisé une étude sur vingt-cinq exploitations agricoles, quinze (15) d'entre elles adoptent la technique conventionnelle (TC), et (10) dix exploitations, les seules dans toute la wilaya de Sétif qui adoptent le semis direct (SD).

## **Chapitre IV – Réflexion sur le développement des techniques culturales sur la croissance et le développement du blé dur (*Triticum durum*).**

Ce chapitre correspond à l'article soumis à **RESEARCH ON CROPS** et intitulé '*Reflection on the development of cultivation techniques on the growth and development of durum wheat (Triticum durum) in Algeria*'. Son objectif est de comprendre l'impact de deux techniques culturales, le travail conventionnel et le semis direct, sur le comportement du sol et les conséquences sur le développement racinaire et le rendement du blé dur.

## VI. 1. Introduction

La demande en blé (*Triticum spp.*) des consommateurs algériens est en constante augmentation, en raison de l'urbanisation croissante. Cependant, selon les statistiques, les rendements sont faibles en raison de plusieurs facteurs climatiques, génétiques, techniques et biologiques (Mebarki *et al.*, 2020). En dehors des facteurs climatiques, l'Homme peut intervenir sur tous les autres facteurs pour améliorer la production de cette céréale cultivée.

Pour cela, l'intensification de cette culture nécessite la mise en place de certaines conditions pour l'utilisation de variétés améliorées, dont certaines existent déjà en Algérie. La mise en place d'un système de culture durable pour améliorer les conditions physico-chimiques du sol, et enfin l'utilisation d'engrais adaptés pour maintenir le potentiel de production.

La pratique du labour profond est la technique de travail du sol la plus répandue en Algérie et dans le monde (Pal *et al.*, 2018 ; Bentahar *et al.*, 2019 ; Shrestha *et al.*, 2020). Selon Parlawar *et al.* (2017), le travail du sol est la manipulation mécanique du sol et l'incorporation des résidus végétaux afin de préparer un lit de semence approprié pour la plantation des cultures. Amara *et al.* (2006) mentionnent que le travail du sol conventionnel est le résultat d'un labour du sol avec un soc ou une charrue à disques, suivi d'opérations de travail superficiel du sol pour la préparation du lit de semence. L'utilisation judicieuse des pratiques de travail du sol permet de surmonter les contraintes édaphiques, alors qu'un travail du sol inopportun peut entraîner une variété de résultats indésirables, par exemple, la destruction de la structure du sol, l'accélération de l'érosion, la perte de matière organique et de fertilité, et la perturbation des cycles de l'eau, du carbone organique et des nutriments végétaux (Asgari *et al.*, 2017 ; Alam, 2017 ; Shrestha *et al.*, 2018 ; Maryam Bayat *et al.*, 2019).

Cependant, cette pratique est suspectée d'être à l'origine de problèmes de fertilité et surtout d'érosion des sols qui deviennent plus apparents dans certaines régions du monde (Lyon *et al.*, 1996 ; Stewart, 2007). Naveen Kumar et Babalad (2017) mentionnent que parmi les principales causes de la dégradation de l'agro-système figurent le travail intensif du sol, la diminution de la matière organique dans le sol induite par l'agriculture, l'érosion hydrique et éolienne, la réduction des taux d'infiltration de l'eau, le colmatage et l'encroûtement de surface et la compaction du sol.

En outre, la conversion aux systèmes sans labour peut améliorer les propriétés physiques du sol et augmenter la rétention d'eau du sol dans les environnements pluviaux. En

outre, des économies sur les coûts d'exploitation et des réductions des émissions des machines sont attendues (**Blanco Canqui, et al., 2017 ; Castellini, 2019**).

**Boame (2005)** rapporte que le semis direct est une pratique verte et économique qui apporte des succès. L'adoption du système de semis direct se fait pour des raisons économiques, agronomiques et climatiques (**Lopez et al., 1996**). Selon d'autres auteurs, le semis direct participe également à l'amélioration des caractéristiques de la qualité du sol, à savoir la capacité à fonctionner dans un écosystème particulier pour produire plus de biomasse, maintenir la qualité de l'air et de l'eau, et assurer la santé des plantes et des animaux (**Carof, 2006**).

Outre ces constatations, l'effet de l'état du sol sur le développement des racines et donc sur celui de la plante a été et continue d'être le sujet de préoccupation de plusieurs chercheurs. Selon **Roger-Estrade et al. (2004)**, les racines mènent une vie secrète dans le sol ; un hectare de blé d'hiver peut cacher 300 000 km de racines, qui fournissent de l'eau et des nutriments à la culture. Un système racinaire bien développé est le résultat d'une bonne structure du sol et est essentiel pour un rendement élevé.

Les principaux facteurs influençant la croissance des racines sont : un système poreux approprié dans lequel les racines peuvent se développer, l'impédance racinaire, la teneur en eau du sol, la température du sol, l'oxygène (**Munoz-Romero, 2015**). Actuellement plusieurs études ont mis en évidence les différents effets des pratiques agricoles sur l'état physique et mécanique des sols mais les travaux sur les effets des techniques sur le développement racinaire sont toujours d'actualité. Les méthodes de culture ont donc une influence profonde et certaine sur la forme et le développement des racines ; car elles affectent de nombreux aspects de l'environnement racinaire, à savoir : l'humidité et la température du sol, l'espace poreux, la concentration en oxygène, la distribution de la matière organique, la mobilisation des nutriments et la configuration physique des sols de surface.

Dans cette introduction, nous avons voulu montrer que plusieurs chercheurs se sont intéressés à l'action des techniques culturales sur le sol. A travers ces travaux, il apparaît que travailler ou ne pas travailler le sol présente respectivement des avantages et des inconvénients. Le choix de la technique culturale n'est pas facile, plusieurs paramètres sont à prendre en compte, ceux liés au sol lui-même et aux exigences de la culture à mettre en place, et ceux liés aux conditions de travail. Pour cela, le choix des machines agricoles et plus particulièrement des outils de travail du sol doit être fait de manière raisonnée.

## **I. 2. Objectif**

L'objectif de cette étude, qui s'inscrit dans le cadre d'un programme de recherche de l'ITGC de Oued Smar, est porte principalement sur une analyse des effets de deux techniques culturales, le travail conventionnel et le semis direct, sur l'évolution de l'état structural du sol et les conséquences sur le développement de la culture du Blé dur (*Triticum durum*).

Afin d'atteindre cet objectif, divers paramètres liés au sol (humidité et résistance du sol à la pénétration mécanique) et d'autres paramètres liés au développement de la culture (levée du blé, diamètre et longueur des racines, rendement) ont été effectuées. Un autre facteur important qui a été étudié pour affecter le rendement est la densité de semis, les doses choisies sont 160 kg/ha pour la dose 1 (D1) et 180 kg/ha pour dose 2 (D2).

## **VI. 3. Le site expérimental**

Durant la campagne agricole (2017/18), l'essai a été réalisé à la station expérimentale agricole de l'institut technique des grandes cultures (ITGC) de Oued –Smar.

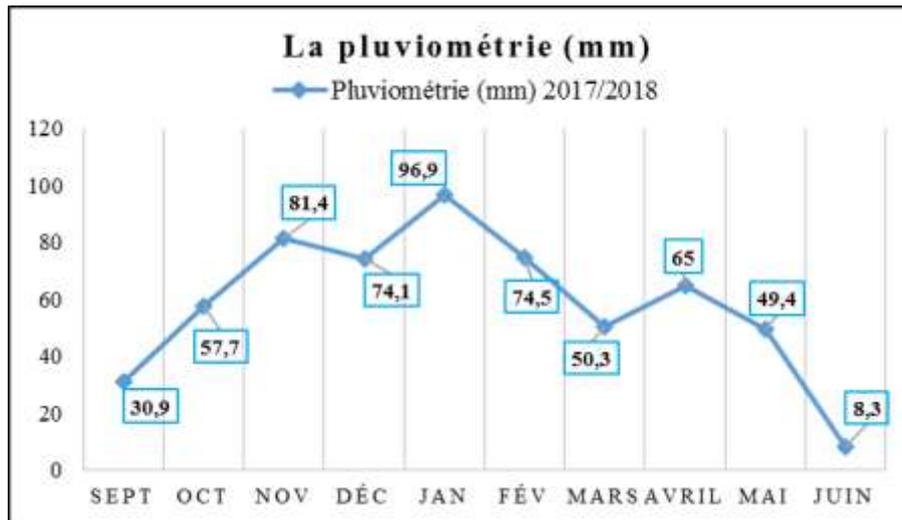
### **V. 3. 1. Texture du sol**

L'analyse granulométrique détermine la texture du sol par l'appréciation de la distribution de la taille des particules du sol. Pour la détermination de la texture, cinq échantillons ont été prélevés sur une profondeur 0-30 cm.

Les résultats de l'analyse granulométrique : Le sol est argileux, avec 46,51% d'argile, 26,7% de limon et 26,79% de sable. L'argile fournit plus de points de contact entre les particules de sol et aide à lier les particules de sol ensemble, ce qui donne une meilleure structure (**Balpande et al., 2020**)

### **V. 3. 2. Conditions climatiques de la campagne 2017-2018**

Selon un suivi régulier de la pluviométrie réalisé par la station météorologique d'Oued Smar de la campagne 2017/2018, les données sont présentées par la figure suivante :



**Figure 11 :** Pluviométrie (mm) de la campagne agricole 2017-2018.

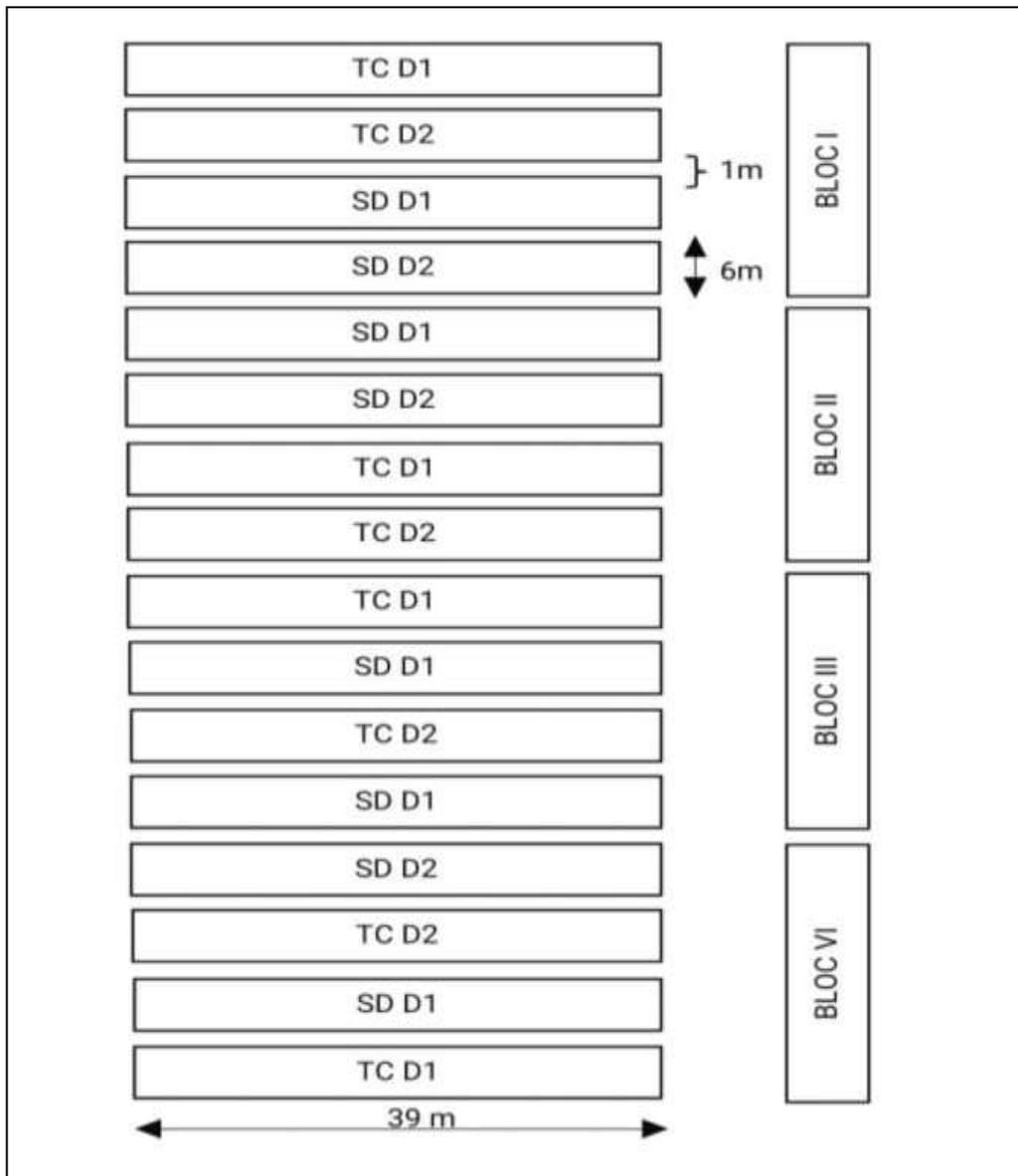
**Source :** réalisé par nous même à partir des données de l'ITGC, 2018.

Pour la campagne agricole 2017/2018, nous constatons que les valeurs de la pluviométrie sont relativement importantes pendant les mois de Novembre, Décembre et Janvier ; c'est-à-dire juste après les travaux de préparation du sol et de la mise en place de la culture.

L'intérêt de la figure (11), réside dans le fait que notre culture a été menée en pluvial. Ces valeurs doivent être prises en considération lors de la détermination des humidités.

#### **VI. 4. Dispositif expérimental**

Pour la réalisation de nos essais et tenant compte du microrelief de la parcelle, le dispositif expérimental choisi est de type factoriel bloc à deux facteurs étudiés (la technique culturale et la dose de semis), avec quatre répétitions. La totalité de la surface (111m x 39m) a été divisé en quatre parcelles, ces derniers sont subdivisés en quatre micro-parcelles de surface égale (6m x 39m), où les deux doses et les deux techniques sont pratiquées dans chaque parcelle, avec un écartement de 1m entre micro-parcelles. Le dispositif expérimental choisi est représenté sur la figure suivante :



**Figure 12** : Schéma du dispositif expérimental.

#### **VI. 4. 1. Premier facteur étudié : la technique culturale**

**La technique conventionnelle (TC) :** le labour a été réalisé par une charrue bisocs réversible à une profondeur moyenne de 25 cm de type à plat (29/11/2017). La reprise de labour a été réalisée par un vibroculteur (24/12/2017).

Le semis a été réalisé à l'aide d'un semoir en ligne (Agric) la profondeur de semis choisie est 2,5 cm (27/12/2017).



**Figure 13** : Etat du sol après le labour (a), après la reprise de labour (b) et pendant le semis (c).

**Le semis direct (SD)** : le semis a été réalisé après un désherbage total par lutte chimique contre les adventices, elle a été réalisée en pré-semis, avec l'application de glyphosate avec une dose de 6 litres diluée dans 300 L d'eau.

L'opération de semis a été effectuée le 27 décembre 2017 à l'aide d'un semoir de type SULKY, la profondeur de semis choisie est toujours 2,5 cm.



**Figure 14** : Pulvérisation de l'herbicide (a) et l'état du sol après le semis (b).

#### VI. 4. 2. Le deuxième facteur étudié : la dose de semis

Deux niveaux de semis : D1 (160 kg/ha) et D2 (180 kg/ha) pour les deux types de semis.

#### VI. 4. 3. La fertilisation appliquée

Pour les deux techniques culturales, l'apport d'azote (l'urée) a été réalisé en deux fractions :

- Le premier apport a été effectué le 31/01/2018 au stade début tallage (50 kg).
- Le deuxième apport a été effectué le 13/02/2018 au stade fin tallage (50 kg).

#### VI. 4. 4. Matériel végétal

La culture qui a fait l'objet de notre étude, est le blé dur (*Triticum durum*), variété **Siméto**. C'est une variété d'origine Italienne, elle résulte d'un croisement entre deux variétés

*Capet x Valomova* (Zekkour M., 2007). C'est une variété qui résiste à la sécheresse et à la verse elle donne une bonne production.

#### VI. 4. 5. Matériel de travail

Le matériel agricole utilisé pour réaliser nos essais est composé des machines suivantes :

**Tableau 4 : Descriptif du matériel d'essai (2017/2018)**

Matériel	Caractéristiques	Figure
<b>Tracteur Cirta 4006 4x2</b>	1 <sup>ère</sup> année d'utilisation : 1974 Puissance : 65 CV / 47,81 kW Nombre de cylindres : 4 Régime de la prise de force : 540 et 1000 tr/min. Empattement : 2 m	
<b>Charrue bisocs réversible</b>	Type : porté Nombre de socs : 2 Poids : 480 kg Profondeur maximal de travail : 30 cm Largeur de travail : 80 cm	
<b>Vibroculteur</b>	Type : porté Poids : 400 kg Largeur de travail : 3 m Profondeur de travail : 5 à 15 cm Nombre de dents : 26 Diamètre de cage roulante : 55 cm	
<b>Semoir en ligne (AGRIC PSM 30)</b>	Type : semi-porté Poids : 420 kg Largeur de travail : 2,55 m Nombre des éléments distributeurs : 19 Distance entre les organes : 15 cm Système de distribution : à cannelures	

<b>Semoir de semis direct (Sulky)</b>	Type : semi-porté Volume de la trémie : 280 L Largeur de travail : 2,40 m Nombre des éléments distributeurs : 18 Distance entre les rangs : 18 cm Système de distribution : à cannelures	
<b>Pulvérisateur à jet projeté</b>	Type : semi-porté Largeur de travail : 8 m Nombre des buses : 16 Distance entre les buses : 50 cm Type de buse : à chambre et fente Capacité : 1200 L	

## VI. 5. Méthodologie

### VI. 5. 1. Méthodologie des mesures des paramètres liés au sol

Chacune des valeurs des différents tableaux (humidité et porosité), représente la moyenne de quatre prélèvements (un prélèvement par technique et un prélèvement par dose de semis et cela pour quatre dates différentes), le nombre de répétitions est de trois échantillons par micro parcelle et trois profondeurs pour chaque échantillon) tel que représenté sur le schéma au niveau de la partie méthodologie. Le nombre de mesures réalisées est de 144 par date pour chacun des paramètres.

#### ➤ L'évolution de l'humidité pondérale du sol (H%) :

Réalisée sur toutes les micro-parcelles, par la méthode du cylindre. Cette méthode consiste à enfoncer un cylindre métallique dans le sol sur un profil de 30 cm. L'échantillonnage du sol est mesuré par pesage avant l'étuve qui nous donne le poids initiale ( $P_i$ ), et un pesage après l'étuve (105°C, 24h) qui nous donne le poids sec ( $P_s$ ). Ces données vont nous permettre de déterminer l'humidité pondérale du sol selon la formule citée par **Duchauffour (1997)** :

$$H\% = 100 (P_i - P_s) / P_s.$$

➤ **la résistance mécanique du sol à la pénétration :**

L'effet du travail du sol sur la partie souterraine de la plante (les racines) est évalué par la résistance mécanique à la pénétration ( $R_p$ , en daN / cm<sup>2</sup>). Pour sa détermination, on a utilisé un pénétromètre statique. La méthode consiste à appliquer une force afin d'avoir un enfoncement de la tige du pénétromètre dans le sol, ce qui nous permet de mesurer la profondeur, à l'aide d'une graduation de la tige qui porte le cône, et lire la valeur de la force indiquée par un curseur sur le pénétromètre (graduée en kilogramme-force).

## VI. 5. 2. Méthodologie des mesures liées à la culture

- **Densité de population (plantes/m<sup>2</sup>) :** L'intérêt de connaître la densité de peuplement concerne principalement l'adaptation des semences de blé dans le sol. Elle est déterminée en comptant le nombre de pieds levés par (m<sup>2</sup>) à l'aide d'un cadre en bois mesurant 1m de chaque côté.
- **Diamètre de la racine (dR en millimètres) :** Après la collecte et le tri des racines, leur diamètre a été mesuré à l'aide d'un pied à coulisse électronique. Les racines propres sont placées entre les deux extrémités du pied à coulisse, l'appareil affiche le diamètre de la racine sur l'écran.
- **Longueur de la racine (LR en centimètres) :** Après avoir recueilli les racines, leur longueur a été déterminée à l'aide d'une règle.
- **Nombre d'épis/m<sup>2</sup> :** Cette mesure a été effectuée à l'aide d'un mètre carré de large jeté au hasard dans la micro-parcelle. Le nombre d'épis contenus dans le carré est compté directement. Nous avons pris la moyenne de huit échantillons par traitement.
- **Rendement du blé :** Pour la mesure de ce paramètre, nous avons utilisé la relation suivante : *Rendement estimé (kg/m<sup>2</sup>) = nombre d'épis/m<sup>2</sup> × PMG × nombre de grains par épi.*

## VI. 6. Matériels de mesure

### VI. 6. 1. Pour la détermination des paramètres liés au sol

- **Porosité et humidité**

Pour la mesure de la porosité et l'humidité du sol, on a utilisé un cylindre métallique (volume : 135,05 cm<sup>3</sup>) pour le prélèvement des échantillons du sol. Le séchage des échantillons du sol a été réalisé dans une étuve réglée à 105°C, de volume égal à 1,6 m<sup>3</sup>, la température maximale de l'étuve est 180 °C.

- **Résistance pénétrométrique**

Pour mesurer la résistance mécanique à la pénétration, on a utilisé un pénétromètre statique. Il est caractérisé par une force maximale de 200 daN et une profondeur maximale de 35 cm.

## VI. 6. 2. Détermination des paramètres liés à la culture

- Pour déterminer le taux de levée et estimer le nombre des épis par mètre carré, on a utilisé un cadre d'un quart de mètre carré (50 x 50 cm).
- Pour la mesure des diamètres des racines, nous avons utilisé un pied à coulisse numérique.
- Pour les prélèvements des racines, on a utilisé un cube métallique (25 x 25 x 25) cm<sup>3</sup>.

## VI. 7. Résultats et Discussion

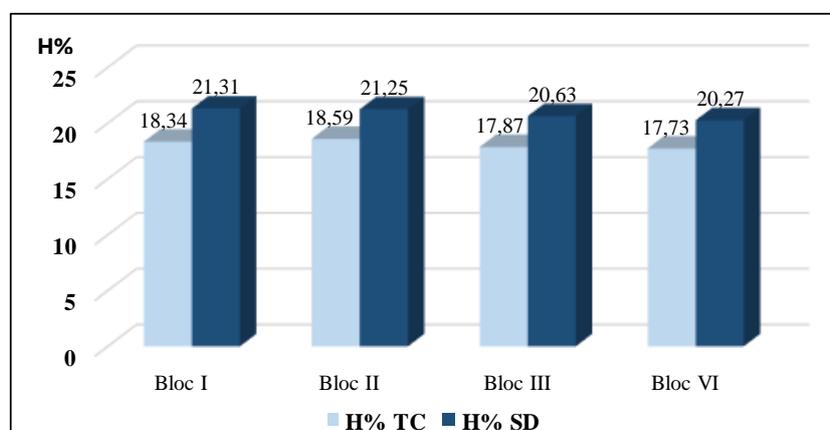
Nous reproduisons ci-dessous les résultats obtenus avec la représentation graphique des premières observations des paramètres liés au sol afin de connaître l'effet de la technique sur l'état du sol et sur le développement du blé.

### VI. 7. 1. Effet des techniques culturales sur l'état structural du sol

Le premier paramètre analysé est la teneur en eau dans le sol, le deuxième paramètre est relatif à la porosité et enfin la résistance à la pénétration du sol. Les résultats sont consignés dans les tableaux suivants.

#### VI. 7. 1. 1. Effet sur l'humidité

Le choix de la technique culturale repose essentiellement sur la capacité à permettre au sol de stocker l'eau et de la rendre disponible à la plante particulièrement quand il y a peu ou pas de pluie. Les résultats obtenus sont présentés dans les tableaux et illustrés par l'histogramme suivant :

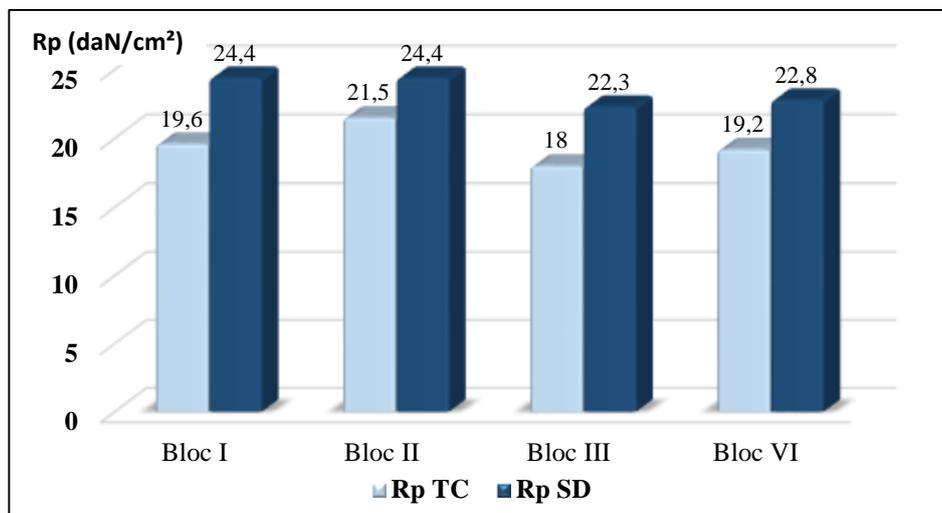


**Figure 15 :** Evolution de l'humidité du sol en fonction de la technique à l'horizon [0 – 30 cm].

Dans notre essai, et quel que soit le bloc, l'humidité du sol est plus importante au niveau du semis direct (Figure 15). Au niveau de la technique conventionnelle, le remaniement du sol entraîne une grande surface de contact entre le sol et l'atmosphère, ce qui conduit à une plus grande évaporation de l'eau. Par contre dans les parcelles de semis direct, l'eau est piégée dans le sol, notamment sur ce type de texture argileuse, qui a une forte capacité de rétention.

### VI. 7. 1. 2. Effet sur la résistance à la pénétration

Les valeurs moyennes des résultats relatives à la résistance du sol à la pénétration sont consignées dans l'histogramme suivant :



**Figure 16 :** Évolution de la résistance pénétrométrique du sol en fonction de la technique.

L'analyse de la résistance pénétrométrique du sol est intéressante à plus d'un titre. En fait, cette caractéristique nous renseigne sur l'aptitude du sol au compactage, qui est une propriété mécanique intéressante à connaître.

La figure (16), montre que la Rp est plus important dans la technique de semis direct où la porosité est faible par rapport à la technique conventionnelle.

Les valeurs moyennes sont respectivement de 23,5 dN/cm<sup>2</sup> pour le semis direct et de 19,6 dN/cm<sup>2</sup> pour la technique conventionnelle. La profondeur de pénétration de la pointe du pénétromètre est comprise entre 9 et 26 cm pour la technique conventionnelle ; pour le semis direct, cette profondeur est comprise entre 2 et 19 cm.

### VI. 2. Effet des techniques sur le développement de la culture.

Comme il a été montré précédemment, la technique culturale influe sur l'état du sol et par conséquent sur le développement racinaire de la plante ; ce qui a probablement un impact

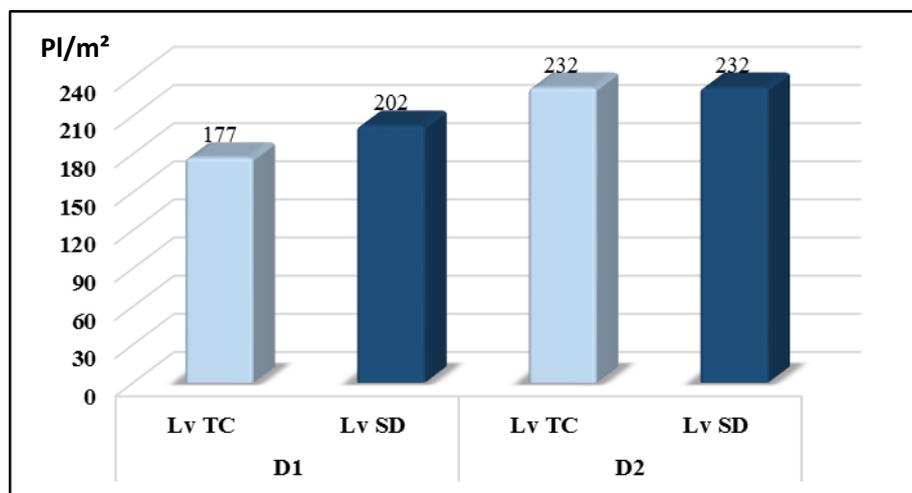
sur le rendement de la culture. Nous reproduisons ci-dessous les résultats obtenus et la représentation graphique des paramètres liés à la culture pour connaître l'effet de la technique sur le développement du blé, ce dernier est caractérisé dans nos essais par :

- Densité de population (plantes/m<sup>2</sup>).
- Diamètre de la racine (dR en millimètre).
- Longueur de la racine (LR en centimètre).
- Nombre d'épis/m<sup>2</sup>.
- Rendement du blé.

### VI. 7. 2. 1. Levée de la culture

Cette caractéristique est étroitement liée au taux de germination aux conditions idéales réalisé précédemment ; il est de 92,4 % ce qui est un taux très important. L'intérêt de la connaissance de taux de levée porte essentiellement sur l'adaptation des graines aux conditions réelles (le sol), ce dernier est influencé par la technique culturale pratiquée en modifiant ces propriétés, ces modifications peuvent avoir un effet indirect sur la levée du blé.

Le taux de levée obtenu est illustré dans l'histogramme suivant :



**Figure 17 :** Taux de levée en fonction de la technique et la dose.

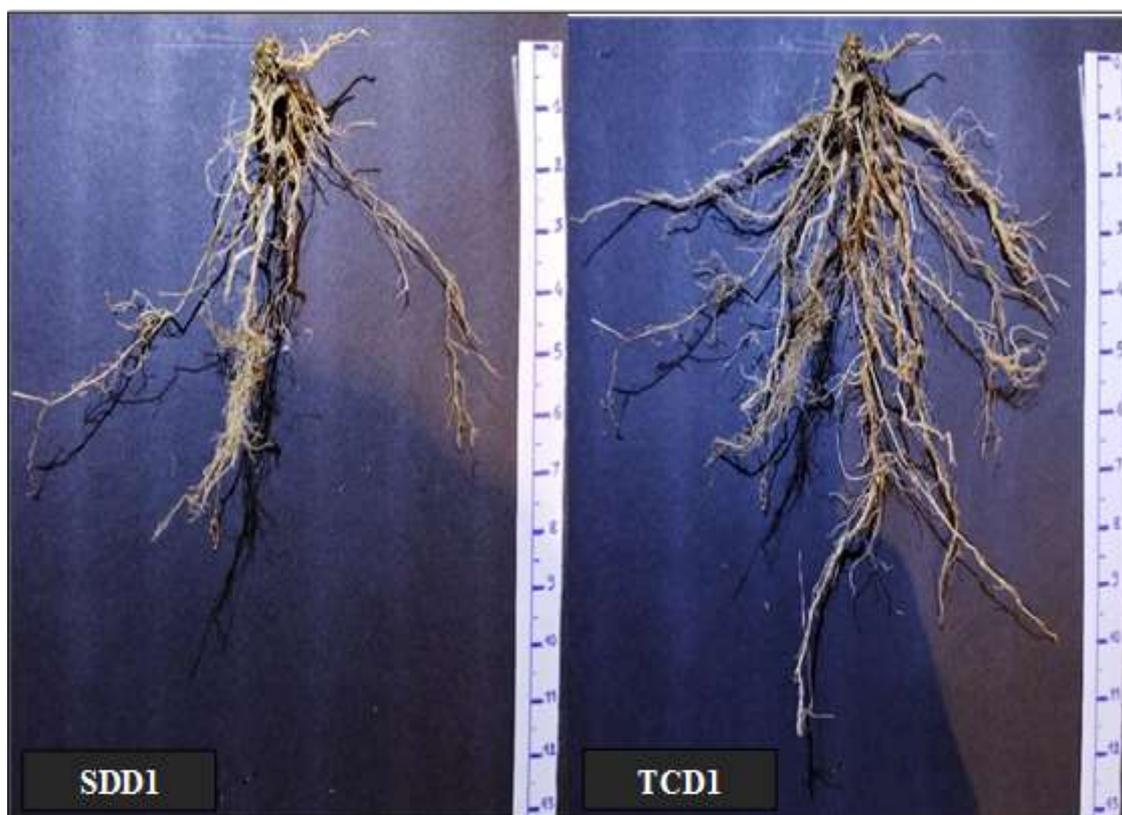
Selon la figure (17), la densité de population (Lv) est meilleure sur les parcelles à semis direct, quel que soit la dose de semis. Cela pourrait s'expliquer par une faible profondeur de semis sur ces parcelles (3 cm). En revanche, sur les parcelles cultivées de manière conventionnelle, la profondeur de la semence après le semis est plus importante (entre 3 et 7,9 cm) compte tenu de la structure légère et poreuse de la surface du sol.

Cela correspond aux résultats de **Fellahi *et al.*, (2010)**, où ils ont observé une émergence plus homogène et une meilleure régularité de la profondeur de semis en semis direct, alors que le semis conventionnel présente un taux de perte à la levée significativement plus élevé.

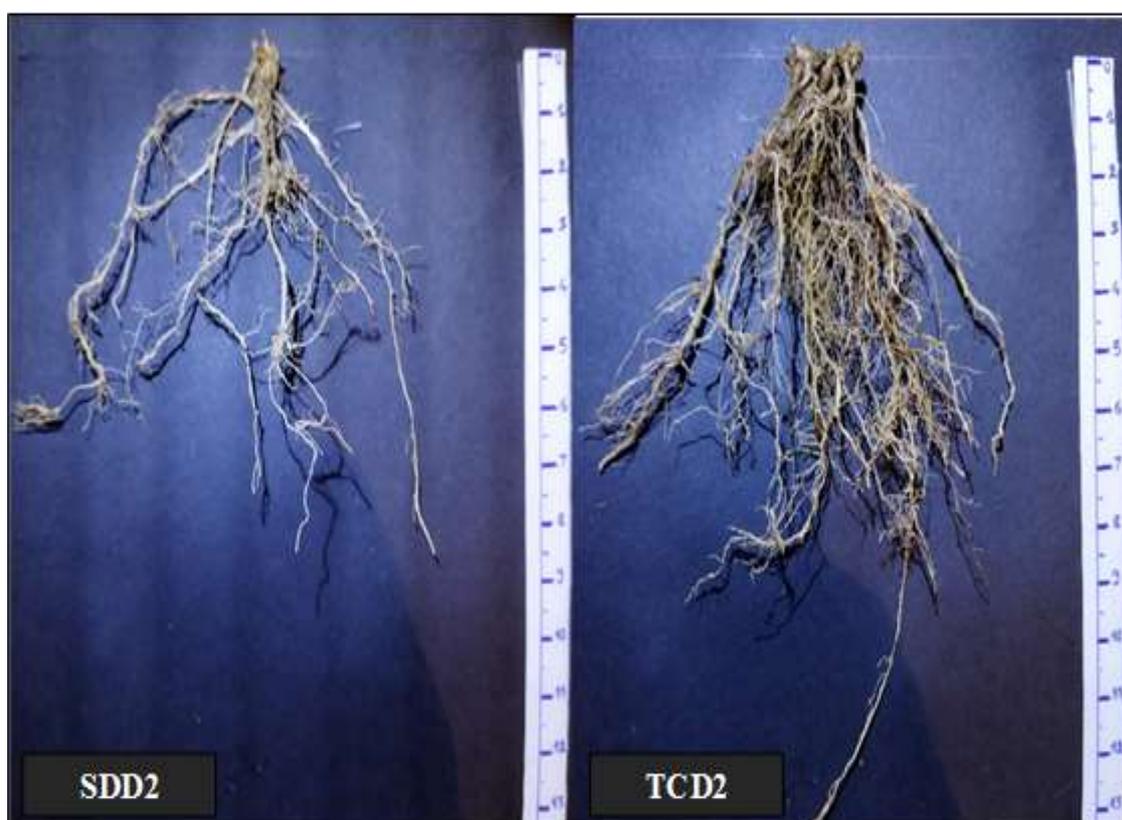
C'est ce qui fait qu'une mauvaise préparation du lit de semence est l'un des principaux facteurs affectant la non-germination des graines, même si elles ont un bon pouvoir de germination. **Mebarki *et al.*, (2020)**, mentionnent que parmi les causes de non-émergence, la taille des mottes au niveau des lits de semences est la plus importante. Dans cette étude, ce phénomène a pu être réduit avec un passage du rouleau avant le semis.

#### **VI. 7. 2. 2. Effet sur le développement des racines**

La partie souterraine du blé est définie par un système racinaire fasciculé (des racines séminales et adventives). Les racines prélevées au niveau de chaque technique et pour les deux doses sont présentées dans les figures suivantes :



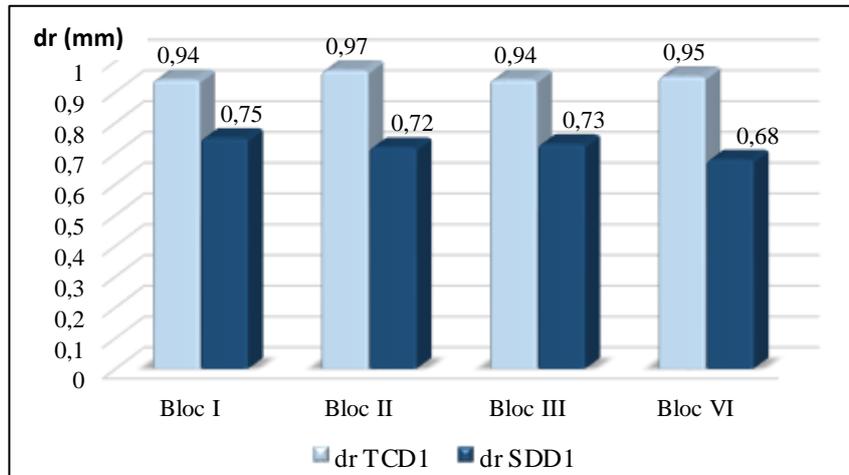
**Figure 18** : Racines prélevées au niveau de TCD1 et SDD1.



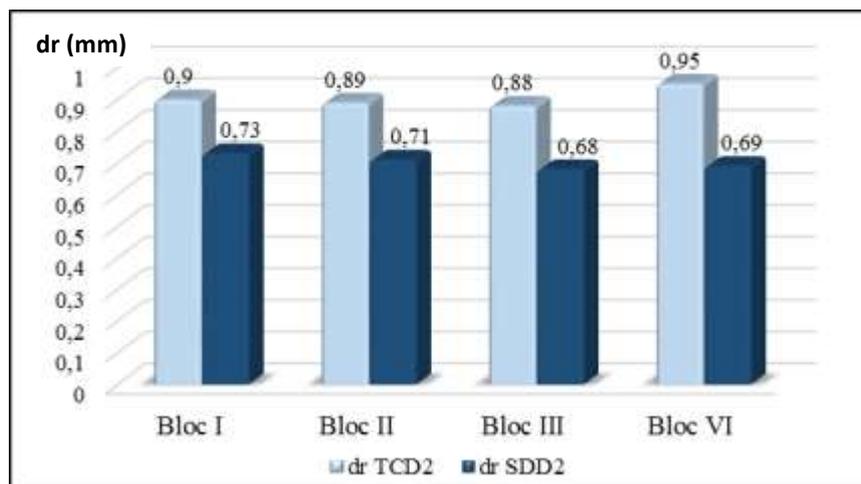
**Figure 19** : Racines prélevées au niveau de TCD2 et SDD2.

### VI. 7. 2. 2. 1. Effet sur le diamètre des racines

Les résultats de nos essais sont illustrés par les histogrammes ci –dessous :



**Figure 20** : Effet de la technique culturale sur le diamètre des racines pour D1.



**Figure 21** : Effet de la technique culturale sur le diamètre des racines pour D2.

L'effet des techniques sur le diamètre des racines est clairement visible au niveau de chacune des deux doses (Figure 20 et 21). La technique classique a un effet positif sur le diamètre des racines.

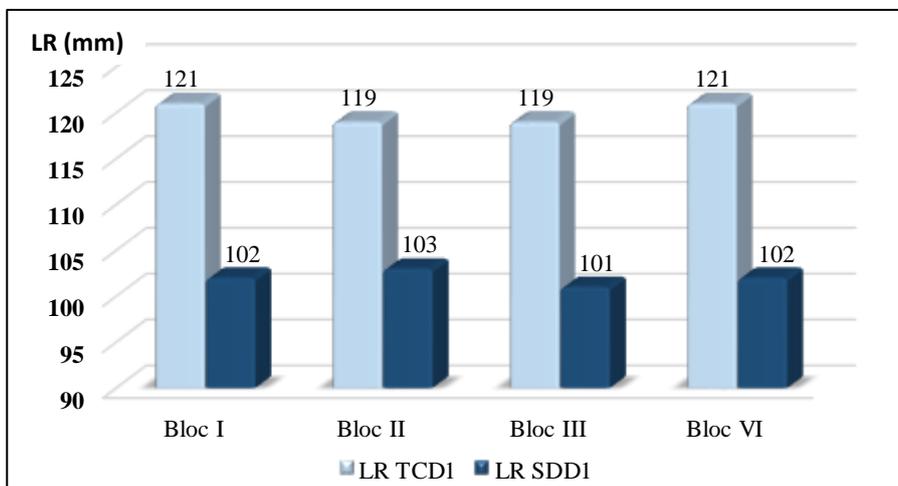
En effet, le diamètre des racines varie de 0,88 à 0,97 mm pour la technique conventionnelle et il n'est que de 0,68 à 0,75 mm pour la technique de semis direct. Cela pourrait s'expliquer en partie par l'effet des différentes actions des outils sur le sol où la porosité au niveau du semis direct est moins importante qu'au niveau des parcelles cultivées de manière conventionnelle. L'effet de la dose n'est donc pas très apparent.

Cela correspond aux résultats de **Amara et al., (2014)**, où ils ont remarqué également que les diamètres des racines sont plus importants sur les parcelles travaillées avec la méthode

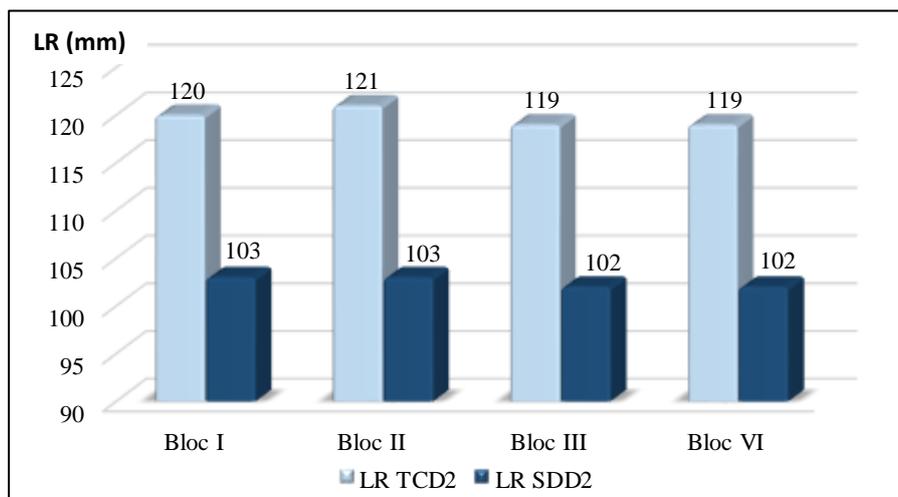
classique ( $dr_{TC} = 1,38 \text{ mm}$  ;  $dr_{SD} = 1,1 \text{ mm}$ ), Les racines se développent donc mieux dans un sol labouré.

### VI. 7. 2. 2. 2. Longueur de la racine

Les résultats de nos essais sont illustrés par les histogrammes ci –dessous :



**Figure 22** : Effet de la technique culturale sur la longueur des racines pour D1.



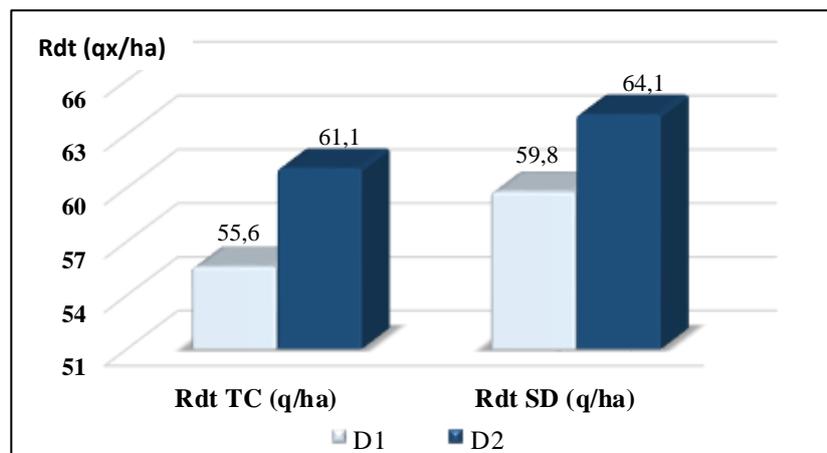
**Figure 23** : Effet de la technique culturale sur la longueur des racines pour D2.

Les résultats relatifs au développement des racines montrent clairement que la longueur des racines est très développée sur les parcelles labourées (TC) quelle que soit la dose de semis (Figure 22 et 23), ce qui s'explique par une plus grande porosité au niveau des parcelles (Les mêmes interprétations que celles relatives aux diamètres des racines peuvent être apportés).

La meilleure longueur de racine est de 121 mm, soit la même longueur obtenue avec un travail conventionnel.

### VI. 7. 2. 3. Effet des techniques sur le rendement

Les résultats de nos essais sont illustrés par l'histogramme ci –dessous :



**Figure 24 :** Rendement du blé estimé en fonction de la technique et la dose.

D'après la figure (24), et dans les conditions de nos essais, l'effet de la technique culturale montre que le rendement du blé est plus important en semis direct, quel que soit le taux de semis. Ce résultat doit néanmoins être nuancé par la densité de peuplement, qui est plus élevée dans le cas du semis direct, ce qui peut expliquer ce rendement plus élevé.

En effet, le rendement du blé estimé varie de 59,8 à 64,1 q/ha pour la technique de semis direct et il n'est que de 55,6 à 61,1 q/ha pour la technique conventionnelle.

Ces résultats ne sont pas du même ordre que ceux obtenus sur d'autres sites ayant la même texture de sol par **Amara et al., 2014**, qui ont obtenu sur les parcelles labourées un rendement de 50,03 q/ha, alors que sur les parcelles en semis direct, il n'était que de 36,19 q/ha. La différence de ces rendements entre les deux techniques est très significative ; elle est de 14 q/ha.

Ces résultats ont montré que la technique culturale a un effet certain sur les propriétés du sol et par conséquent sur le développement de la culture.

Ces premières observations nous ont permis d'avoir une idée initiale sur l'adaptation du Semis Direct dans les conditions de nos essais pour la mise en place de la culture du blé dur.

Il serait donc intéressant de quantifier ces différents effets, pour cela une analyse statistique est nécessaire ; ce qui fera l'objectif du titre qui suit.

## VI. 8. Analyse statistiques des résultats

La méthode utilisée pour la quantification des effets des techniques culturales pour la mise en place du blé dur est celle des corrélations et des régressions multiples (analyse de la variance). Afin de se situer dans des conditions normales, les paramètres qui entrent dans cette analyse sont ceux de la dose (D1), à savoir 160 kg/ha.

La régression multiple reliant le rendement (Rdt) avec l'humidité du sol (H), la porosité (n) et la résistance pénétrométrique (Rp) a donné les équations suivantes :

$$\mathbf{Rdt_{TCD1} = 366,275 - 3,84*n_{TCD1} - 9,40*H_{TCD1} + 0,29*Rp_{TCD1}}$$

$$\mathbf{Rdt_{SDD1} = -237,877 + 0,79*n_{SDD1} + 10,91*H_{SDD1} + 1,70*Rp_{SDD1}}$$

Pour le travail du sol conventionnel, l'ordre d'importance des effets est le suivant : L'humidité (H) avec un coefficient de -9,40 puis la porosité (n) avec un coefficient de -3,84 et enfin la résistance pénétrométrique (Rp) avec un coefficient de + 0,29.

Pour le semis direct, l'ordre d'importance des effets est l'Humidité (H) avec un coefficient de +10,91, puis la résistance pénétrométrique (Rp) avec un coefficient de +1,70 et enfin la porosité (n) avec un coefficient de + 0,79.

## VI. 9. Conclusion

Les résultats obtenus dans cette étude sont très encourageants pour une éventuelle introduction du semis direct dans les cultures céréalières en Algérie. Cependant, il est prématuré de porter un jugement définitif sur l'opportunité et l'impact de cette technique sur le comportement du blé, car l'étude a été menée sur une courte période. Pour l'avenir, nous recommandons de se concentrer sur d'autres paramètres, tels que la distribution du poids des agrégats. La distribution du poids des agrégats est le meilleur moyen d'évaluer et de caractériser l'action des outils sur la structure du sol en donnant plus de détails sur la taille des mottes formées après le passage des appareils, et leur proportion par rapport au volume de sol remué.

## **Chapitre V – Influence de deux techniques culturales sur la croissance et le développement du Bersim (*Trifolium Alexandrinum*).**

Ce chapitre correspond à l'article soumis à *FOURRAGES* et intitulé '*Influence de deux techniques culturales sur la croissance et le développement du Bersim (Trifolium Alexandrinum) en Algérie*'. L'objectif est de comprendre les effets de deux techniques culturales, le travail conventionnel et le semis direct, sur le comportement du sol (de la même parcelle) et sur le développement racinaire et le rendement bersim.

## V. 1. Introduction

En Algérie, les cultures fourragères occupent une place marginale au sein des productions végétales au regard de la faible superficie allouée à ces cultures (**Abdelguerfi *et al.*, 2008**). Elles contribuent faiblement à l'alimentation des herbivores comparées aux plantes fourragères spontanées (25 462 ha de prairie naturelle et 3 573 009 ha de jachère). Les cultures fourragères occupent annuellement 493 793 hectares (**MADR, 2007b**) soit un peu plus de 5,8 % de la surface agricole utile (8,5 millions d'hectares) (**MADR, 2007a**).

En Algérie, le bersim semble être l'une des principales espèces du genre trifolium connue et cultivé par nos agriculteurs, c'est un fourrage précieux qui rentre facilement dans l'assolement et qui laisse le terrain libre assez tôt pour semer une culture d'été ou d'automne. Du point de vue écologique, le bersim est un moyen efficace de lutte non chimique contre les adventices par étouffement et laisse le sol propre, grâce à sa végétation luxuriante et l'effet des coupes fréquentes (**Bounejmat, 1997**).

D'un point de vue économique, le bersim peut enrichir le sol en matière organique et entretenir la fertilité du sol par la fixation d'azote (**Hamadache, 2003**).

Sur le plan nutritif, le bersim produit d'importantes quantités de fourrage durant les périodes hivernales et printanières et semble complémentaire à la culture de la luzerne. La luzerne fournit du fourrage de mai à octobre et le bersim prend le relais après une période de soudure plus ou moins brève. Bien que la superficie cultivée en Luzerne en Algérie soit très faible par rapport à la superficie totale des cultures fourragères, elle est considérée comme l'une des espèces utilisées en rotation avec le blé. En 2014, la superficie cultivée en luzerne est estimée à 6271 hectares avec une production nationale de 507,7 tonnes (**MADR, 2015**).

Sur le plan qualitatif, le bersim revêt un intérêt certain auprès des éleveurs laitiers en Algérie (**MAP, 1996**), ce fourrage vert est très digestible et riche en matières azotées ce qui favorise la production laitière.

Cette culture peut aussi provoquer à long terme une amélioration de la structure physique du sol en formant dans le sens vertical des petits canaux qui se conservent après l'humification des racines, et donc améliore la circulation de l'eau et des matières nutritives dans le sol (**Villax, 1963**).

Le but de toute activité agricole vise l'obtention de meilleurs rendements tant aux points de vue quantité que qualité. Ces rendements dépendent de plusieurs facteurs : les uns sont liés au milieu (sol-climat), les autres au potentiel génétique de la plante mais aussi de la technique culturale utilisée.

La préparation du sol et le suivi de la culture durant son développement sont autant de facteurs à prendre en considération. La pratique du labour profond est la technique de travail du sol la plus répandue en Algérie et dans le monde. Cette pratique a permis, dès l'introduction de la charrue à soc et du tracteur, d'augmenter les rendements, grâce à son action sur le développement des adventices, car elle assure un bon enfouissement des résidus de récoltes, elle met à la disposition de la culture une couche arable plus conséquente, elle assure également une rapide minéralisation de la matière organique et permet une bonne infiltration de l'eau du sol.

Les essais réalisés par **Amara *et al.* (2008)** ont aussi montré que l'action des pièces travaillantes modifie fortement les valeurs de la porosité, de l'humidité et de la résistance pénétrométrique du sol.

Ces dernières décennies, avec le progrès des techniques agricoles, on assiste à une évolution des méthodes du travail du sol qui vise à supprimer entièrement le labour ou à diminuer son intensité, ce sont les techniques dites simplifiées sans labour et semis direct. Ces alternatives au labour profond sont des nouvelles pratiques agricoles qui favorisent la durabilité du sol. Dans le cas où les résidus des cultures, au moins 30%, sont laissés en surface du sol, une telle pratique est dite agriculture de conservation. (**Labreuche *et al.*, 2007**).

L'introduction de ces nouvelles techniques de semis ne doit pas se limiter uniquement au problème économique mais doit prendre en considération le bon développement de la culture et de son système racinaire.

Malheureusement le système racinaire de cette culture est difficile à observer au champ. Il est important pour la production d'une culture mais aussi pour la fertilité future du sol, d'avoir un système racinaire bien développé.

A cet effet un intérêt particulier doit être porté sur le développement des racines de la culture à mettre en place.

## **V. 2. Objectif**

Ce travail porte principalement sur une analyse des effets de deux techniques culturales, le travail conventionnel et le semis direct, sur l'évolution de l'état structural du sol et les conséquences sur le développement de la culture du Bersim.

Afin d'atteindre cet objectif, divers paramètres liés au sol (humidité et résistance du sol à la pénétration mécanique) et d'autres paramètres liés au développement de la culture (hauteur de la plante, développement racinaire et rendement) ont été analysés. Un autre facteur important qui a été étudié pour affecter le rendement est la densité de semis, les doses

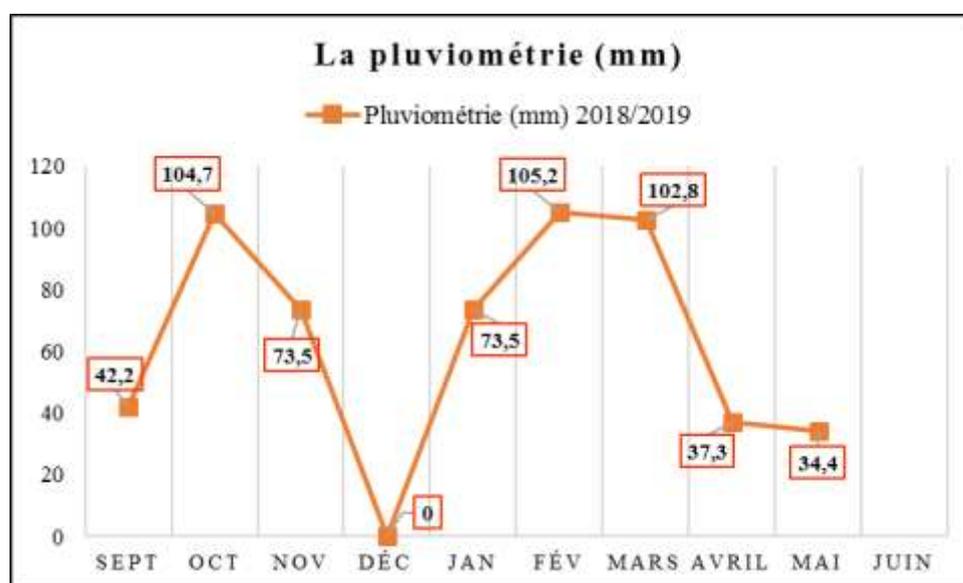
choisies sont 15kg/ha pour dose 1 (D1) et 25 kg/ha pour dose 2 (D2). La dose généralement utilisée se situe entre 15 et 30Kg/ha selon les conditions pédoclimatiques de la région, des caractéristiques de la semence et du type de fourrage associé.

### V. 3. Le site expérimental et la nature de sol

L'essai a été réalisé aussi à la station expérimentale agricole de l'institut technique des grandes cultures (ITGC) de Oued –Smar, durant la campagne agricole 2018-2019, sur la même parcelle caractérisée par une texture argileuse où les précédentes essais (chapitre quatre) ont été menées.

#### V. 3. 1. Conditions climatiques de la campagne 2018-2019

Selon le suivi régulier des précipitations effectué par la station météorologique de Oued-Smar en 2018/2019, les données sont présentées dans la figure ci-dessous :



**Figure 25 :** Pluviométrie (mm) de la campagne agricole 2018-2019.

**Source :** données de l'ITGC, 2019.

Pour la campagne agricole 2018/2019, les valeurs de la pluviométrie sont relativement importantes pendant les mois d'Octobre, Février, Mars. Absence totale de pluie pour le mois de décembre c'est-à-dire après la mise en place de la culture, ce manque d'eau au début du cycle végétatif avait eu une incidence sur la germination et la levée.

### VI. 4. Dispositif expérimental

Pour la réalisation de nos essais, nous avons gardés le même dispositif expérimental utilisé précédemment (factoriel bloc à deux facteurs étudiés, la technique culturale et la dose de semis) avec toujours quatre répétitions (voir la figure 12).

#### V. 4. 1. Premier facteur : la technique culturale

**La technique conventionnelle (TC) :** le labour a été réalisé par une charrue bisocs réversible à une profondeur moyenne de 22 cm de type à plat (27/10/2018). La reprise de labour a été réalisée par un vibroculteur (05/11/2018). Un passage du rouleau Croskill a été effectué directement après le semis (semoir en ligne) pour améliorer le contact sol-graine, la profondeur de semis choisie est 1 cm (11/11/2018).

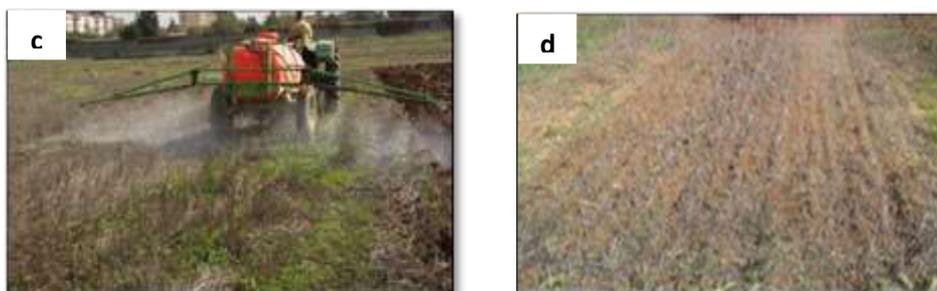


**Figure 26 :** Etat du sol après le labour (d), après la reprise de labour (e) et pendant le semis (f).

**Le semis direct (SD) :** le semis a été réalisé par un semoir de semis direct après un désherbage total par lutte chimique.

La lutte chimique contre les adventices a été réalisée en pré-semis, avec l'application de glyphosate à une concentration de 2 L pour 150 L d'eau.

L'opération de semis a été effectuée le 11 novembre 2018 à l'aide d'un semoir de type SULKY, la profondeur de semis choisie est 1 cm.



**Figure 27 :** Pulvérisation de l'herbicide (c) et l'état du sol après le semis (d).

#### V. 4. 2. Le deuxième facteur : la dose de semis

Deux niveaux de semis : D1 (15 kg/ha) et D2 (25 kg/ha). Pour un semis mécanique, le bersim est semé à une dose de 20 à 25 kg/ha. En sol battant et en conduite irriguée, la dose peut être augmentée jusqu'à 40 kg/ha. (ITGC, 2019). Généralement la densité de semis est de 25 kg/ha en pure et elle est de 10 à 15 kg/ha en association avec une autre culture (Minette, 2009).

Pour TC, les opérations de travail du sol ont été exécutées fin octobre 2018, dans des conditions d'humidité moyenne (14%).

#### V. 4. 3. La fertilisation appliquée

Pour les deux techniques culturales, 100 kg/ha de N-P-K (12-52-0) ont été apportés comme engrais de fond.

L'opération de semis a été effectuée le 11 novembre 2018 à l'aide d'un semoir en ligne de type AGRIC pour TC, et avec un semoir de type SULKY pour SD.

#### V. 4. 4. Matériel végétal

La culture utilisée pour nos mesures est le Bersim (*Trifolium Alexandrinum*), variété « Tigri », avec un taux de germination moyen de 92,4 %. Le bersim est adapté aux régions à hivers doux sans risque de gel. Sa croissance est optimale entre 12 °C et 25°C. A 35°C les jeunes plantes meurent et à 6°C sa croissance ralentit considérablement. (Abdelguerfi *et al.*, 2008).

#### V. 4. 5. Matériel de travail

Le matériel agricole utilisé pour réaliser nos essais est composé des machines suivantes :

**Tableau 5 : Descriptif du matériel d'essai (2018/2019)**

Matériel	Caractéristiques	Figure
<b>Tracteur AGROLUX 80 4x4</b>	1 <sup>ère</sup> année d'utilisation : 2005 Puissance : 78 CV / 57,33 kW Nombre de cylindres : 4 Régime de la prise de force : 540 et 1000 tr/min. Empattement : 2,5 m	
<b>Tracteur Cirta 4006 4x2</b>	1 <sup>ère</sup> année d'utilisation : 1974 Puissance : 65 CV / 47,81 kW Nombre de cylindres : 4 Régime de la prise de force : 540 et 1000 tr/min. Empattement : 2 m	

<p><b>Charrue bisocs réversible</b></p>	<p>Type : porté          Nombre de socs : 2          Poids : 480 kg          Profondeur maximal de travail : 30 cm          Largeur de travail : 80 cm</p>	
<p><b>Vibroculteur</b></p>	<p>Type : porté          Poids : 400 kg          Largeur de travail : 3 m          Profondeur de travail : 5 à 15 cm          Nombre de dents : 26          Diamètre de cage roulante : 55 cm</p>	
<p><b>Semoir en ligne (AGRIC PSM 30)</b></p>	<p>Type : semi-porté          Poids : 420 kg          Largeur de travail : 2,55 m          Nombre des éléments distributeurs : 19          Distance entre les organes : 15 cm          Système de distribution : à cannelures</p>	
<p><b>Semoir de semis direct (Sulky)</b></p>	<p>Type : semi-porté          Volume de la trémie : 280 L          Largeur de travail : 2,40 m          Nombre des éléments distributeurs : 18          Distance entre les rangs : 18 cm          Système de distribution : à cannelures</p>	
<p><b>Rouleau croskill</b></p>	<p>Poids : 300 kg          Largeur de travail : 1,8 m          Diamètre du grand disque : 50 cm          Diamètre du petit disque : 44 cm</p>	

<b>Pulvérisateur à jet projeté</b>	Type : semi-porté Largeur de travail : 8 m Nombre des buses : 16 Distance entre les buses : 50 cm Type de buse : à chambre et fente Capacité : 1200 L	
<b>Faucheuse</b>	Type : faucheuse alternative automotrice Largeur de travail : 1,2m Nombre de dents : 29 Dents à section : lisse	

## V. 5. Méthodologie

### V. 5. 1. Méthodologie des mesures des paramètres liés au sol

Comme nous avons déjà mentionnés précédemment, chacune des valeurs des différents tableaux (humidité et porosité) ci-dessous, représente la moyenne de quatre prélèvements, le nombre de répétitions est toujours de trois échantillons par micro parcelle et trois profondeurs pour chaque échantillon.

Pour la détermination de l'humidité pondérale du sol et la résistance mécanique du sol à la pénétration ( $R_p$ ), nous avons utilisés la même méthodologie mentionnée dans le quatrième chapitre, la méthode du cylindre pour ( $H\%$ ) et l'enfoncement de la tige du pénétromètre statique dans le sol et lire la valeur de la force indiquée.

### V. 5. 2. Méthodologie des mesures liées à la culture

- **Le taux de levée (plantule/m<sup>2</sup>)** : L'intérêt de le comprendre est principalement lié à l'adaptation des graines de bersim aux conditions réelles (le sol). Il est déterminé en calculant le nombre de pieds levés par mètre carré à l'aide d'un cadre en bois de 1 m de chaque côté.
- **La densité des racines (dR, en g/cm<sup>3</sup>)** : Les racines ont été prélevées pour chaque technique culturale et pour les deux doses de semis à l'aide un cube métallique mesurant 25 cm de chaque côté. Les racines prélevées ont été mises à l'étuve (105°C, 24h), afin d'avoir le poids sec par pesage.

- **La densité des nodules (Nodule/ha)** : l'analyse de ce paramètre revêt un double importance, économique avec la prévision de la fertilisation, agronomique et même environnemental. Les racines ont été prélevés via deux coupes (trois prélèvements par micro-parcelle), après les prélèvements, les nodules ont été observés et quantifiés.
- **L'infestation en adventices (MH%)** : La végétation a été prélevée (pour les deux coupes) à l'aide d'un cadre en bois mesurant 1m de chaque côté (trois prélèvements par micro-parcelle). Bersim et adventices ont été séparés et mises à l'étuve (105°C, 24h) après les avoir identifiés, afin d'avoir le poids sec par pesage ( $P_{MSB}$ , en g pour le Bersim) et ( $P_{MSMH}$ , en g pour les mauvaises herbes), MH% est calculé par la formule suivante :

$$MH\% = 100[P_{MSMH} / (P_{MSMH} + P_{MSB})].$$

- **Le rendement de la culture en matière sèche (Rdt MS en q/ha)** : l'estimation du rendement a été déterminée (pour les deux coupes) à l'aide d'un cadre en bois mesurant 1m de chaque côté (trois prélèvements par micro-parcelle), le Bersim a été pesé en vert et mis à l'étuve (105°C, 24h) pour avoir le poids de la matière sèche.
- **Le rapport MS/MV** : Un intérêt particulier est porté sur l'effet des techniques et de la dose de semis sur le taux de matière sèche (MS%) par rapport à la matière verte (MV%). Cela pourrait nous informer sur la qualité du fourrage. Sauf l'eau, tous les éléments nutritifs requis pour la production de lait se trouvent dans la MS des aliments, c'est ce qui l'a rendu importante en termes de quantité. Plus la quantité de MS est importante, meilleur est le fourrage.

La méthode utilisée pour quantifier les différentes interactions est la méthode statistique par l'analyse des corrélations simples et des régressions multiples lorsque l'intérêt est porté sur les effets combinés.

## V. 6. Matériels de mesure

### V. 6. 1. Pour la détermination des paramètres liés au sol

- **Porosité et humidité**

L'humidité du sol a été mesurée à l'aide d'un cylindre métallique (volume : 135,05 cm<sup>3</sup>) pour les prélèvements du sol. L'échantillon prélevé est séché dans une étuve contrôlée à 105°C.

- **Résistance pénétrométrique**

Pour mesurer la résistance mécanique à la pénétration, on a utilisés le même pénétromètre statique.

### V. 6. 2. Pour la détermination des paramètres liés à la culture

- **La partie sous terrain**

Pour les prélèvements des racines, on a utilisé un cube métallique (25 x 25 x 25) cm<sup>3</sup>.

- **La partie aérienne**

Pour déterminer le taux de levée et estimer le rendement, on a utilisé un cadre d'un quart de mètre carré (50 x 50 cm).

## V. 7. Résultats et Discussion

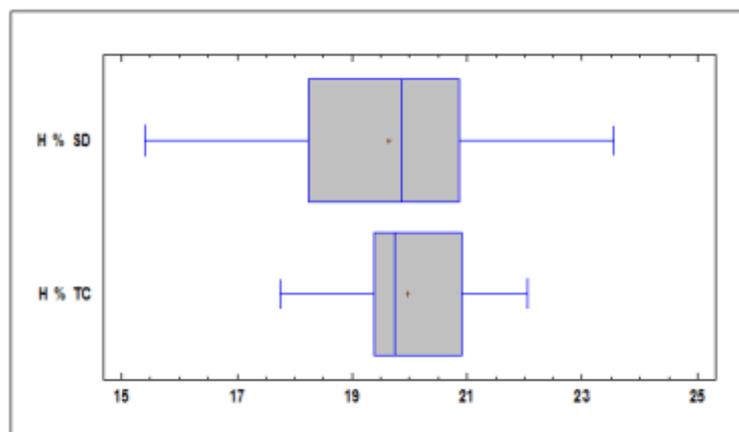
Nous reproduisons ci-dessous les résultats obtenus avec la représentation graphique des premières observations des paramètres liés au sol afin de connaître l'effet de la technique sur l'état du sol et sur le développement du bersim.

### V. 7. 1. Effet des techniques culturales sur l'état structural du sol

Le premier paramètre analysé est la teneur en eau dans le sol, le deuxième est relatif à la résistance à la pénétration du sol. Les résultats sont consignés dans les tableaux suivants.

#### V. 7. 1. 1. Effet sur l'humidité

Les résultats obtenus sont présentés par la figure suivante :



**Figure 28 :** Effet de la technique sur l'humidité pondérale.

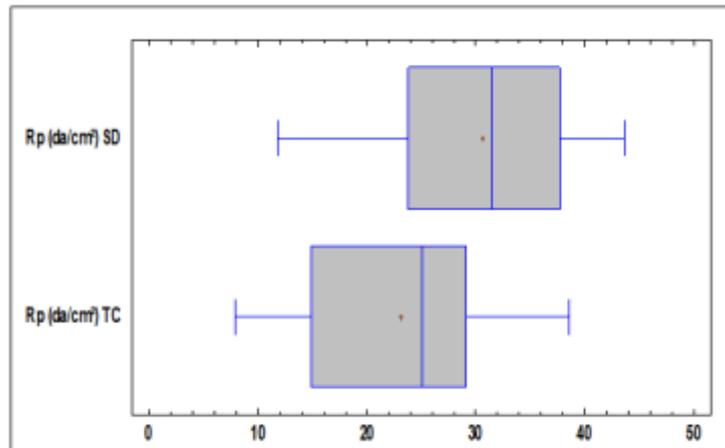
L'humidité du sol semble être similaire dans notre essai mené sur sols argileux peu importe la technique culturelle utilisée même si la conservation de l'humidité semble légèrement supérieure en semi directe (Figure 28).

La valeur maximale au niveau de semis direct est supérieure à celle de la technique conventionnelle, et la valeur minimale est supérieure au niveau de la technique conventionnelle.

La médiane s'approche des valeurs maximales au niveau de semis direct dont la valeur moyenne est localisée au-dessous de la médiane, c'est-à-dire elle s'approche des valeurs minimales, contrairement à la technique conventionnelle où la médiane s'approche des valeurs minimales et la valeur moyenne est au-dessus de la médiane c'est-à-dire elle s'approche des valeurs maximales.

### V. 7. 1. 2. Effet sur la résistance à la pénétration

Les résultats obtenus sont présentés par la figure suivante :



**Figure 29** : Effet de la technique sur la résistance à la pénétration.

La figure (29) montre que la Rp est plus importante au niveau de la technique du semis direct. Les valeurs sont respectivement de 31,92 daN/cm<sup>2</sup> pour le semis direct et de 26,98 daN/cm<sup>2</sup> pour la technique conventionnelle. La profondeur de pénétration de la pointe du pénétromètre est comprise entre 15 à 30 cm pour le travail conventionnel ; pour le semis direct cette profondeur est comprise entre 2 à 18 cm.

Les valeurs maximales et minimales au niveau de semis direct sont supérieures à celles de la technique conventionnelle avec pratiquement un même écart.

La médiane s'approche des valeurs maximales au niveau de semis et au niveau de la technique conventionnelle dont la valeur moyenne est localisée au-dessous de la médiane c'est-à-dire elle s'approche des valeurs minimales pour les deux techniques.

### V. 7. 2. Effet des techniques sur le développement de la culture.

Comme il a été montré précédemment, la technique culturale influe sur l'état du sol et par conséquent sur le développement racinaire de la plante ; ce qui a probablement un impact sur le rendement de la culture. Nous reproduisons ci-dessous les résultats obtenus et la représentation graphique des paramètres liés à la culture pour connaître l'effet de la technique sur le développement de la plante (le bersim).

Le développement du bersim est caractérisé dans nos essais par :

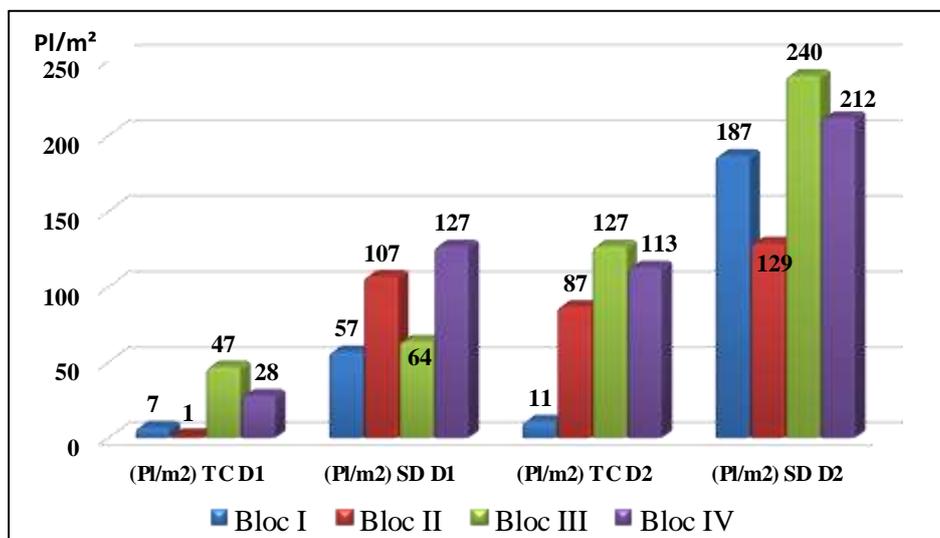
- La levée.
- La densité des racines.
- La densité des nodules.
- Taux de mauvaises herbes.

- Le rendement en vert et en matière sèche.

### V. 7. 2. 1. Levée de la culture

Cette caractéristique est étroitement liée au taux de germination dans les conditions idéales précédemment atteint, il est de 92,4%, ce qui est un taux très élevé. L'intérêt de la connaissance du taux de levée porte principalement sur l'adaptation des graines au sol, cette dernière étant affectée par les techniques culturales mises en œuvre en modifiant ces caractéristiques, ce qui peut avoir un effet indirect sur la levée du bersim.

Le taux de levée obtenu est illustré dans la figure suivante :



**Figure 30 :** Effet de la technique sur la levée du Bersim.

D'après la figure (30), pour les quatre parcelles et quelle que soit la dose de semis, le taux de levée est meilleur sur les parcelles en semis direct. Ce qui pourrait s'expliquer par une faible profondeur de semis sur ces parcelles (1 cm). Par contre, sur les parcelles travaillées conventionnellement la profondeur de la graine après le semis est plus importante (entre 1 et 6,8 cm) vue la structure légère et poreuse à la surface du sol. Ce phénomène pourrait être réduit avec un roulage avant le semis.

### V. 7. 2. 2. Effet des techniques sur la densité racinaire

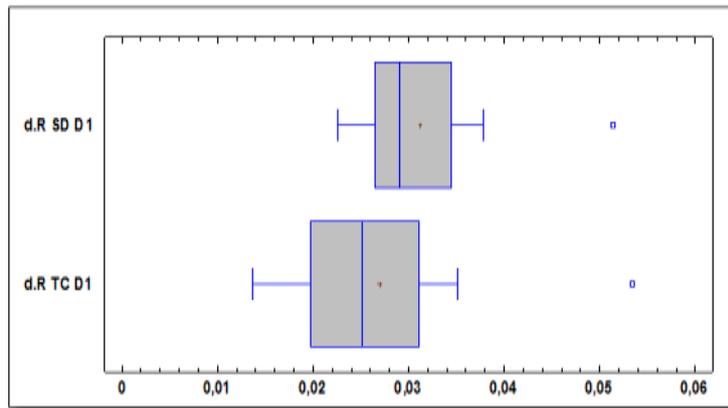
Pour la première dose, les racines prélevées au niveau de chaque technique sont présentées dans la figure suivante :



**Figure 31** : Racines prélevées au niveau de TCD1 et SDD1.

On remarque que les racines au niveau des micro-parcelles travaillées conventionnellement sont plus développées, avec des diamètres plus grands par rapport aux celles des micro-parcelles de semis direct.

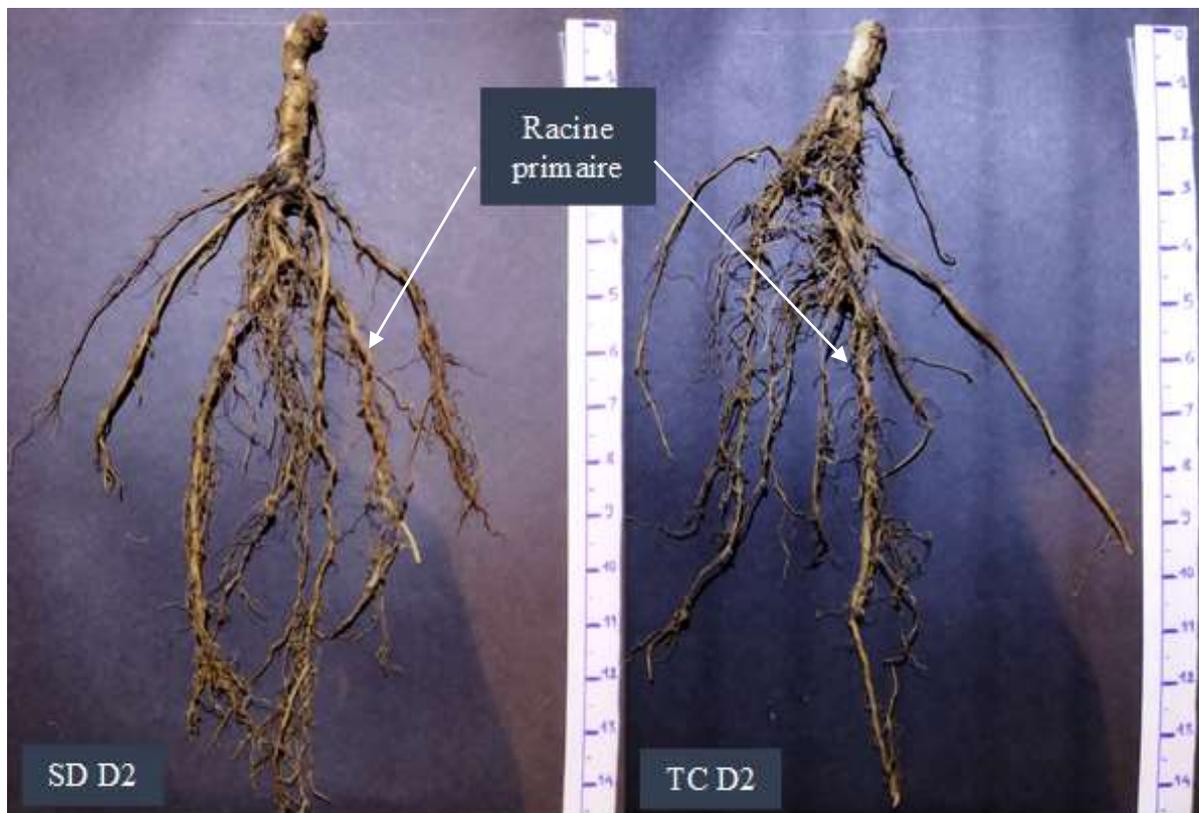
Les densités racinaires obtenues pour la dose D1 au niveau de la totalité de la parcelle sont présentées dans la figure suivante :



**Figure 32 :** Effet de la technique sur la densité racinaire pour D1.

Comme précédemment l'effet de la technique est clair. D'après la figure (32), la densité racinaire est plus importante au niveau de semis direct. Les valeurs maximales et minimales au niveau de semis direct sont supérieures à celle de la technique conventionnelle. La médiane s'approche des valeurs minimales au niveau de semis direct et au niveau de la technique conventionnelle dont la valeur moyenne est localisée au-dessus de la médiane c'est-à-dire elle s'approche des valeurs maximales pour les deux techniques.

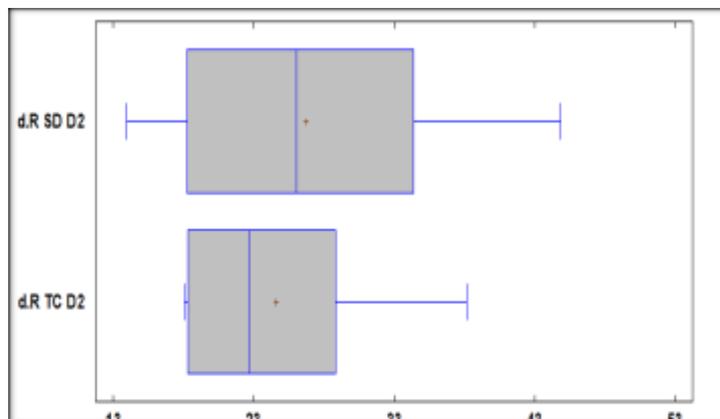
Pour la première dose, les racines prélevées au niveau de chaque technique sont présentées dans la figure suivante :



**Figure 33 :** Racines prélevées au niveau de TCD2 et SDD2.

La même remarque pour la dose D2, les racines au niveau des micro-parcelles travaillées conventionnellement sont plus développées en profondeur.

Les densités racinaires obtenues pour la dose D2 au niveau de la totalité de la parcelle sont présentées dans la figure suivante :



**Figure 34** : Effet de la technique sur la densité racinaire pour D2.

D'après la figure (34), il est clairement montré que la densité racinaire est plus importante au niveau de semis direct.

La valeur maximale au niveau de semis direct est supérieure à celle de la technique conventionnelle, contrairement à la valeur minimale qui est supérieure au niveau de la technique conventionnelle. La médiane et la valeur moyenne sont centrées au niveau de semis direct, et au niveau de la technique conventionnelle la médiane s'approche des valeurs minimales, tandis que la valeur moyenne est située au-dessus de la médiane c'est-à-dire elle s'approche des valeurs maximales.

Selon les figures (32) et (34), et sur un profil de 25 cm de profondeur, la densité des racines est plus importante dans les parcelles en semis direct quel que soit la dose de semis. C'est-à-dire l'effet de technique culturale sur « dR » est significatif. Tout cela à cause de l'importante différence remarqué à la levée.

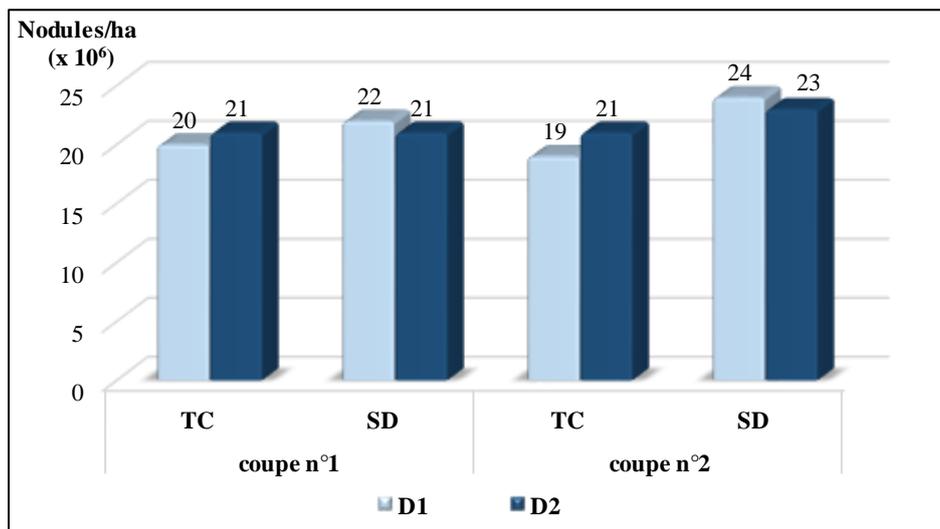
### V. 7. 2. 3. Effet sur la densité des nodules

Cette analyse revêt une double importance, la première économique c'est-à-dire la prévision de la fertilisation, la seconde pourrait être d'ordre agronomique et même environnemental.

Economiquement, les nodules en association symbiotique avec les rhizobiums du sol ont une grande capacité de fixer l'azote atmosphérique dans le sol, ce qui va offrir à la plante l'autosuffisance en matière azotée, cela entraîne à la limitation d'apport des engrais azotés, par conséquent la limitation de la pollution chimique des sols.

D'autre part, l'enrichissement du sol en azote par les légumineuses va permettre à la culture suivante de couvrir ces besoins en azote surtout au début de son cycle de développement, c'est là où réside l'intérêt de ces dernières, les légumineuses dans la rotation.

Les résultats obtenus par la quantification des nodules au niveau des racines sont présentés par la figure suivante :



**Figure 35 :** Nombre de nodosités pour les deux coupes en fonction de la technique et la dose.

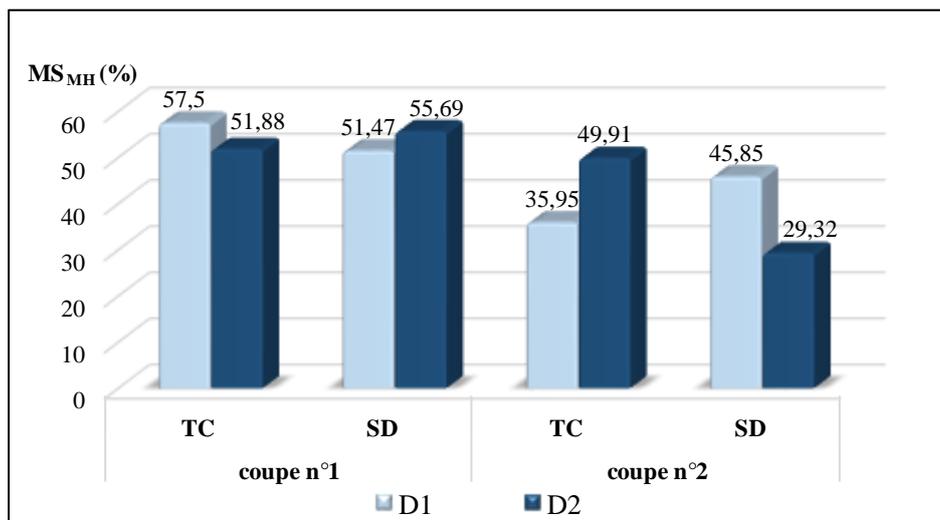
D'après la figure (35), pour la 1<sup>ère</sup> coupe, le nombre de nodules est important au niveau des micro-parcelles de semis direct quel que soit la dose de semis. Pour la 2<sup>ème</sup> coupe (en D1), le nombre de nodules est similaire pour les deux techniques, alors que pour la D2, le nombre de nodules est plus important en semis direct.

Cela s'explique par le fait que la densité des racines au niveau des micro-parcelles de semis direct est plus importante en comparaison aux micro-parcelles travaillées conventionnellement. Néanmoins le meilleur taux de levée de la culture en semis direct peut aussi expliquer le taux de nodules.

#### **V. 7. 2. 4. Effet sur l'infestation en adventices**

L'un des rôles essentiels de la technique conventionnelle est la destruction des mauvaises herbes par une action mécanique. Par contre le choix de la technique du semis direct impose un traitement chimique avec des désherbants ; ce qui présente un danger sur l'écosystème ainsi que sur la santé humaine.

Pour notre cas, la présence des mauvaises herbes a été remarquable pour la totalité de la parcelle quel que soit la technique.



**Figure 36** : Taux de mauvaises herbes pour les deux coupes en fonction de la technique et la dose.

D'après la figure (36), on a remarqué que pour la 1<sup>ère</sup> coupe, le taux de mauvaises herbes est plus important au niveau du travail conventionnel par rapport au semis direct pour la dose 1 et inversement pour la dose 2.

Pour la 2<sup>ème</sup> coupe, le taux de mauvaises herbes est plus important au niveau du semis direct par rapport au travail conventionnel pour la dose 1 et inversement pour la dose 2.

Le taux de mauvaises herbes pour la D1 du travail conventionnel passe de 57,5% de matière sèche total (Bersim et mauvaises herbes) à la 1<sup>ère</sup> coupe, à 35,95% à la 2<sup>ème</sup> coupe. et pour le semis direct le taux passe de 51,47% à 45,85%.

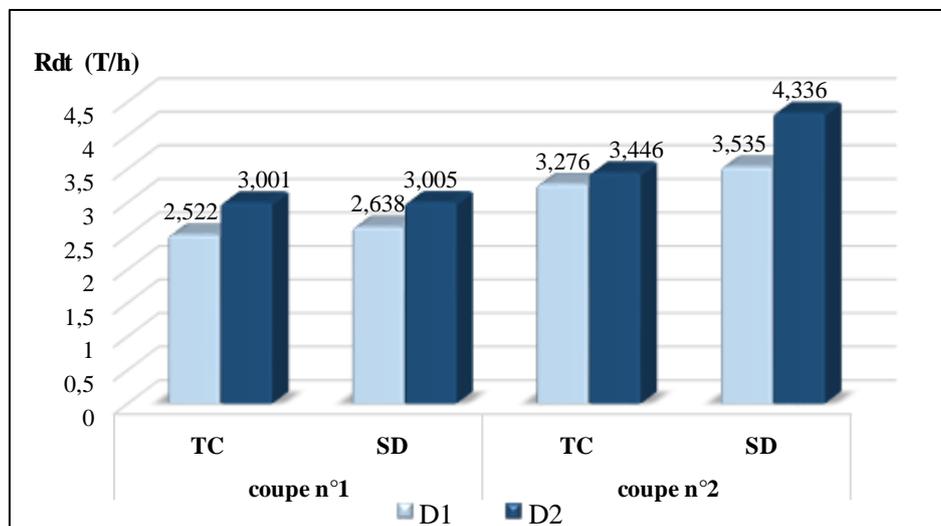
Pour la D2, le taux de mauvaises herbes du travail conventionnel passe de 51,88 % de matière sèche total à la 1<sup>ère</sup> coupe, à 48,91% à la 2<sup>ème</sup> coupe. et pour le semis direct le taux passe de 55,69% à 29,32%.

Malgré le traitement chimique dans les parcelles de semis direct, la présence de mauvaises herbes était remarquable. La dose du traitement devrait donc être supérieure pour une destruction totale des mauvaises herbes avec les risques de pollution du sol et des nappes d'eau souterraines.

Nous constatons donc, que les coupes fréquentes nettoient les parcelles ce qui entraîne la diminution de la densité de mauvaises herbes.

### V. 7. 2. 5. Rendement du Bersim

Nous reproduisons ci-dessous le rendement en matière verte et en matière sèche de la culture de Bersim dans le tableau suivant :



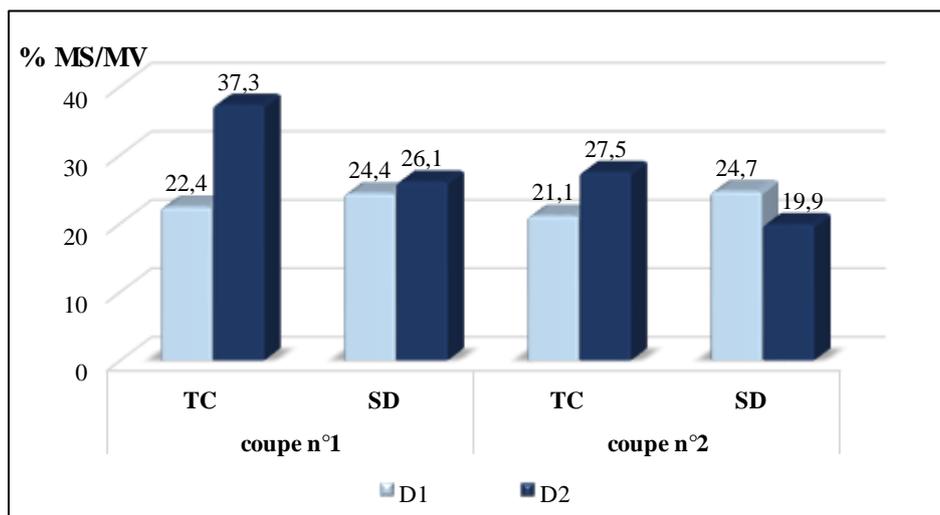
**Figure 37** : Rendement du Bersim en MS en fonction de la technique et la dose.

D'après la représentation graphique, il est clairement montré que le rendement en matière sèche est relativement le même au niveau des deux techniques pour la 1<sup>ère</sup> coupe qui est considérée comme coupe de nettoyage. Cette dernière a pour but de diminuer au maximum les mauvaises herbes en perturbant leurs cycles végétatifs.

D'autre part, pour la 2<sup>ème</sup> coupe le rendement en matière sèche est important au niveau des micro-parcelles de semis direct quel que soit la dose de semis, une grande différence a été enregistrée pour la deuxième dose, dont les valeurs sont respectivement 4,336 T/ha pour les semis direct et 3,466 T/ha pour le travail conventionnel.

### V. 7. 2. 6. Effet sur le rapport MS/MV

Un intérêt particulier est porté sur l'effet des techniques et de la dose de semis sur le taux de MS par rapport à la MV. Cela pourrait nous informer sur la qualité du fourrage. Plus la matière sèche est importante plus le fourrage est meilleur. Les résultats de nos essais sont repris dans la représentation graphique suivante :



**Figure 38** : Taux de MS du bersim par rapport au MV en fonction de la technique et la dose.

D'après la figure (38), on remarque que pour la dose 1, le pourcentage de la matière sèche par rapport à la matière verte est relativement le même pour les deux techniques, et pour la dose 2 il est clairement montré que le pourcentage de MS par rapport à la MV est plus important au niveau de la technique conventionnelle et cela pour les deux coupes, dont les valeurs sont respectivement 37,3% pour TC et 26,1% SD pour la 1<sup>ère</sup> coupe et 27,5% TC et 19,9% SD pour la 2<sup>ème</sup> coupe. Pour le côté qualitatif, la technique conventionnelle est à favoriser.

Ces résultats ont montré que la technique culturale a un effet certain sur les propriétés du sol et par conséquent sur le développement de la culture. La dose de semis a également un effet sur l'enracinement et le développement de la culture.

Il serait donc intéressant de quantifier ces différents effets, pour cela une analyse statistique est nécessaire ; ce qui fera l'objectif de partie qui suit.

## V. 8. Conclusion

La question de recherche concernait l'impact des techniques culturales sur la modification de la structure du sol, en vue d'optimiser le rendement du Bersim. Après une année d'application des traitements, nos résultats montrent que la structure du sol de chaque modalité de travail du sol semble être modifiée par l'action des pièces travaillantes des outils aratoires.

La campagne d'étude s'est caractérisée par des conditions hydriques d'automne et hiver très défavorables, qui n'ont permis de différencier que légèrement les deux modalités de travail du sol.

Pour la résistance pénétrométrique, les résultats montrent que les parcelles non travaillées présentent une résistance à la pénétration plus élevée, vraisemblablement, cette compaction retrace l'histoire de la parcelle. Le labour permet de réduire significativement  $R_p$  en profondeur, alors que le non retournement du sol cause une augmentation de  $R_p$  sur tout le profil. A partir de ces résultats on peut prévoir que des racines se développeront plus facilement sur les parcelles travaillées avec la charrue à soc. Mais il faut rester toutefois prudent, parce qu'aucune relation directe n'a été établie entre la résistance pénétrométrique et la croissance racinaire. Pour prendre une décision sur le choix des outils favorisant une bonne structure du sol, il devient impératif de prendre en considération certaines propriétés du sol, telles que la résistance pénétrométrique du sol, qui reste un bon indicateur pour la détection des semelles de labour.

Dans les conditions de notre essai, le semis direct permet une meilleure levée de la culture de bersim, cela peut être expliqué par la régularité de la profondeur de semis, obtenue par le réglage hydraulique du semoir de semis direct, contrairement au semoir en ligne où le réglage se fait par une commande mécanique.

Le meilleur rendement obtenu a été enregistré en semis direct avec une forte dose de semis avec 4,3 T/ha contre 3,5 T/ha en conventionnel. Alors qu'en dose faible, le rendement obtenu semble être similaire.

Tous ces résultats sont très encourageants pour une éventuelle introduction du semis direct dans les cultures fourragères en Algérie, ce système étant actuellement réservé qu'aux céréales. Néanmoins, il est prématuré de se prononcer définitivement sur l'opportunité et l'incidence de cette technique sur le comportement du bersim, car l'étude a été menée sur un temps court, d'autant plus qu'en semis direct, il faut laisser le sol minimum cinq ans sans intervention mécanique pour voir ses avantages.

Certains aspects du semis direct sous couverture végétale affectent les systèmes d'élevage, et peuvent être un frein à sa diffusion. La permanence du paillis en surface peut être remise en cause dans les régions à vocation élevage-pâturage. En effet, les systèmes de semis direct impliquent l'utilisation de résidus de culture, non pas comme fourrages, mais comme couverture. Ainsi, les parcelles ne peuvent pas être pâturées après la récolte des grains, ce qui pose un problème essentiel pour les systèmes d'élevage reposants sur le pâturage. Ce problème concerne également les exploitations sans ruminants qui peuvent vendre un droit de pâturage aux éleveurs, qui représente des entrées d'argent non négligeables pour les petites structures.

L'essai a mis en évidence l'intérêt d'introduction des fourrages verts à base de légumineuses dans les systèmes fourragers de l'Algérie du Nord.

Après avoir testé les potentialités du bersim sous climat humide, il sera intéressant de le tester dans les zones types d'élevage où le déficit hydrique est plus prononcé tels que les hauts plateaux algériens (le semis direct y a fait ses preuves en céréaliculture). Il faut néanmoins prendre en considération la grande pression du bétail sur les résidus de récolte dans ces régions où la subsistance repose sur la production de grains. Dans ces régions particulièrement, l'amélioration et la gestion des pâturages doivent être considérés et intégrés aux pratiques de semis direct.

## Chapitre VI – Analyse énergétique

### VI. 1. Introduction

Le travail du sol fait partie des intrants pris en compte dans la balance énergétique et dépend d'une série de facteurs. L'ensemble du système de production détermine l'ampleur des intrants pour l'irrigation, les engrais, les pesticides, les récoltes, le séchage des cultures, le transport et le type de travail du sol utilisé. Dans les systèmes à intrants élevés utilisant des méthodes de labour traditionnelles, le labour compte pour environ 5% dans les systèmes irrigués et jusqu'à 15% dans les cultures pluviales. Il est à noter que tous les facteurs sont exprimés en unités énergétiques. Les engrais, la mécanisation et l'irrigation sont les plus gros consommateurs d'énergie. Une réduction du travail du sol ou un système de semis direct peut diminuer la proportion utilisée pour le travail du sol mais, dans les pays tropicaux en tout cas, les systèmes réduits de travail du sol ne sont pas appliqués uniquement afin de réaliser des économies d'énergie.

Les équipements et les combustibles sont en général disponibles pour le travail du sol dans les systèmes à intrants élevés mais leur coût et le travail peuvent poser des problèmes tandis que dans les systèmes peu énergétiques, la disponibilité en énergie et les équipements sont des facteurs restrictifs. Quand seul un certain nombre d'animaux/heure et hommes/heure est disponible pour chaque hectare, la superficie utilisable pour la production des cultures est limitée au nombre d'hectares dont ils peuvent s'occuper aux périodes de gros travaux. Les problèmes peuvent surgir avec le labour, le désherbage et dans une moindre mesure les récoltes. Parfois, il est même impossible physiquement de réaliser certaines tâches agricoles.

En effet, dans les régions semi-arides, le travail humain ou animal ne suffit pas pour labourer les sols secs et très durs.

À l'heure actuelle, les besoins énergétiques de l'Algérie pour les opérations de mécanisation agricole ne sont pas très clairs. Sur la base d'estimations approximatives et dépassées, ces données ne sont pas suffisantes pour fournir un inventaire très précis de la consommation de carburant des équipements agricoles.

En Algérie, pour le secteur céréalier, le choix de la technique culturale dépend principalement de la disponibilité du matériel agricole, du prix d'achat ou de location du matériel et des conditions de travail. Cela rend difficile la connaissance de la consommation d'énergie requise pour chaque technique, ancienne et moderne.

Jusqu'à présent, peu de travaux ont porté sur la problématique des besoins énergétiques des systèmes de travail du sol en Algérie, cela nous a poussé à apporter notre contribution en analysant les besoins énergétiques de chaque opération de travail du sol, dans la région de Sétif, une des wilayas les plus productrices des céréales en Algérie. Ce travail peut être une base de données intéressante et utile pour les agriculteurs dans leur choix des techniques culturales à adopter.

## **VI. 2. Cadre général de l'étude**

L'Algérie est le 8<sup>ème</sup> pays où le carburant est le moins cher dans le monde avec une moyenne de 0,18 euro par litre. Donc, les agriculteurs algériens ne prêtent pas beaucoup d'attention à la quantité du gasoil consommé lors de l'application de diverses opérations agricoles, telles que la préparation du sol, le semis, les traitements chimiques...etc.

Le but de cette étude est d'établir une analyse comparative entre les techniques culturales classiques et simplifiées dans les exploitations à production céréalière active, il s'agit de comparer la consommation d'énergie directe (temps et carburant), de comprendre les raisons des consommations excessives, et de proposer des solutions.

Par ailleurs, notre travail ne concernera pas tous les produits céréaliers, nous avons fait le choix de limiter aux : Blé dur, Blé tendre et l'orge, produits de large consommation en Algérie.

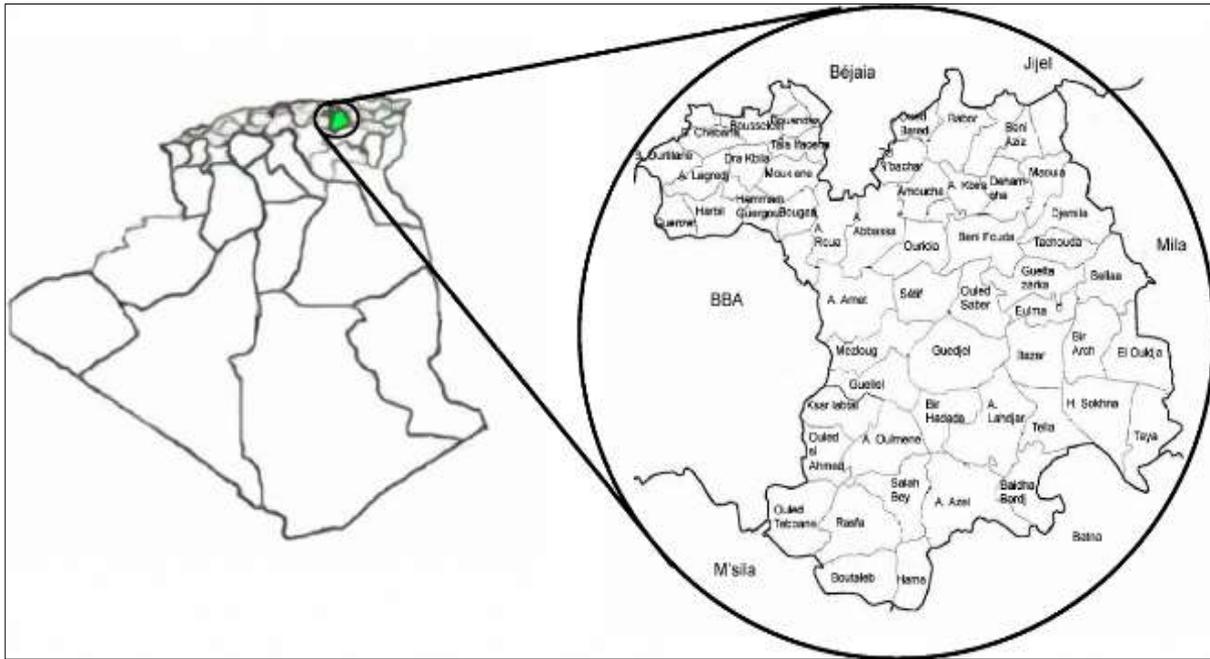
## **VI. 3. Présentation de la zone étude**

Notre choix s'est porté sur la wilaya de Sétif, ce choix est motivé par le fait que cette dernière, est la pionnière en matière d'adoption des TCS et technique de conservation en Algérie, ajouter à cela, elle est considérée comme une des plus grandes zones céréalières du pays avec un climat semi-aride.

La superficie de Sétif est de 6504 km<sup>2</sup>, elle se situe à 300 km au Sud-Est de la capitale Algérienne, dans la région des hauts plateaux à une altitude qui varie entre 900 et 1300 m, ses coordonnées géographiques sont les suivants : la latitude est de 36.15, la longitude est de 5.43.

Elle est limitée :

- Au Nord : par les wilayas de Bejaïa et Jijel.
- A l'Est : par la wilaya de Mila.
- Au Sud : par les wilayas de Batna et M'sila.
- A l'Ouest : par la wilaya de Bordj-Bou-Argeridj.



**Figure 39** : Situation de la région de Sétif.

Source : Mouffok, 2007.

### VI. 3. 1. Caractéristiques agro-pédologiques

En termes de relief, la région de Sétif comprend trois zones principales :

- **Zone montagneuse** : se compose de trois zones montagneuses, la zone montagneuse de la région nord (Babor) s'étend sur plus de 100 kilomètres avec une altitude maximale de 2004 m ; les montagnes de Bibans, dont l'extrémité orientale couvre la partie nord-ouest de la wilaya et les montagnes du Hodna, qui s'étalent sur le Sud et le Sud-Ouest, où l'altitude atteint à Djebel Boutaleb 1890 m. Cette zone occupe plus de 40% de la superficie de la Wilaya.
- **Zone des hautes plaines** : Il s'agit d'une vaste zone, représentant 50% de la superficie totale de la Wilaya, relativement plate, avec des altitudes allant de 900 à 1200 m. En effet, malgré ses caractéristiques plates, des mamelons de montagne (Djebel Youcef et Braou) ont été trouvés dans cette zone.
- **Zone de dépression Sud et Sud Est** : Située au sud et au sud-est de la Wilaya, où l'altitude dépasse rarement 900 m. Cette zone réellement plate couvre 10% de la zone de Wilaya et se caractérise par la présence de "chots" ou dépressions salines.

La wilaya de Sétif dispose aussi d'un potentiel important en agriculture, d'après la direction des services agricoles de la wilaya, la superficie agricole totale est estimée à 562 000 ha, et la superficie agricole utile à 360 900 ha, en 2015, la surface emblavée pour les céréales d'hiver était 189 370 ha. Le tableau au-dessous, représente les différentes spéculations

céréalières, la surface emblavée et récoltée pour chaque spéculation, la production ainsi que le rendement moyen :

**Tableau 6** : Spéculations céréalières, surface emblavée, surface récoltée, production et rendement de chaque spéculation dans la wilaya de Sétif.

Spéculation	Surface emblavée (ha)	Surface récoltée (ha)	Production (qx)	Rendement moyen (qx/ha)
Blé dur	114 958	94 330	682 730	7,2
Blé tendre	18 460	13 280	95 900	7,2
Orge	47 918	29 608	166 789	5,6
Avoine	8 034	8 024	49 972	6,2

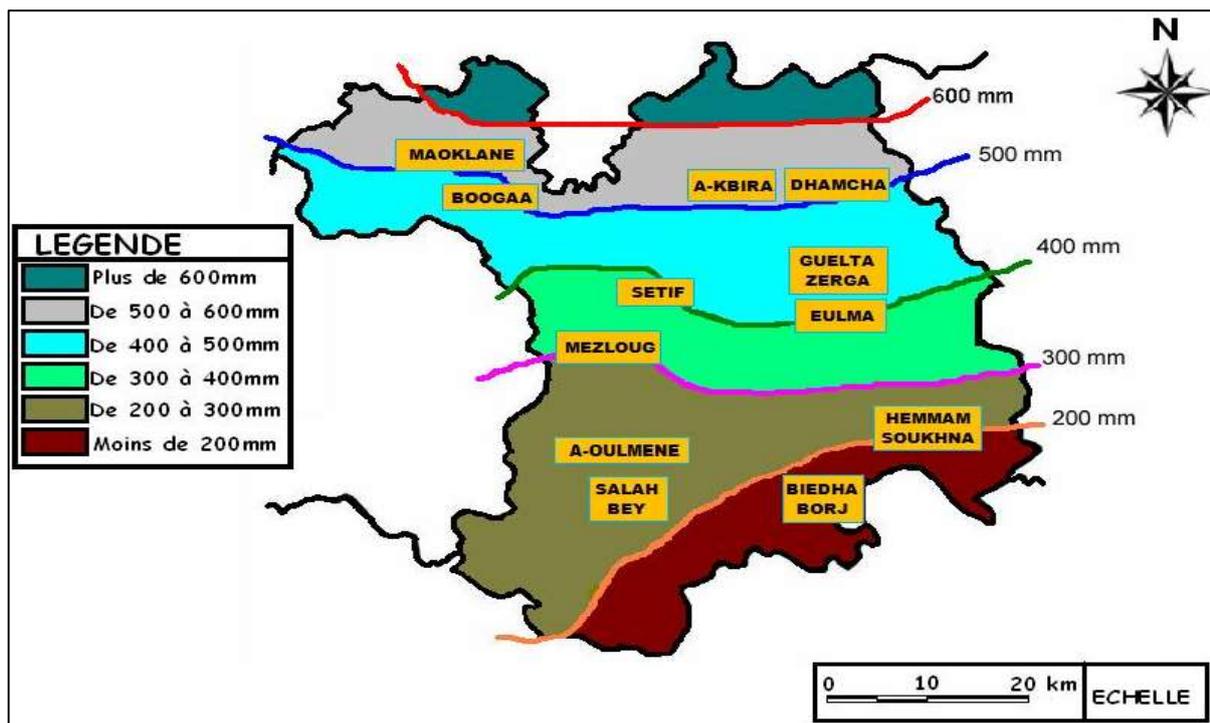
Source : Données de **DSASI, 2015**.

### VI. 3. 2. Caractéristiques climatiques

La wilaya à Sétif se caractérise par un climat continental semi-aride avec des hivers rigoureux et des étés chauds. En hiver, la température est généralement basse et la pluie est très violente, ce qui est à l'origine d'une érosion évidente, notamment dans les régions du nord. Nous avons également remarqué que pendant cette période, les vents d'ouest et du nord-ouest étaient dominants. En été, les précipitations sont quasiment nulles et les températures estivales sont très élevées, notamment en juillet et août, qui sont à l'origine des incendies.

Durant cette période, nous avons remarqué les avantages du sirocco vent sud. Année après année, les précipitations sont irrégulières et inégalement réparties. Les zones de montagne reçoivent en moyenne 700 millimètres par an, les hautes plaines reçoivent en moyenne 400 millimètres, et sur le bord sud, la pluviométrie annuelle moyenne est d'environ 350 millimètres.

Pendant la saison froide, la wilaya enregistre de fortes chutes de neige, ce qui est bon pour le sol jusqu'en mars et parfois même en avril. La figure (40) représente la répartition annuelle des précipitations dans la wilaya de Sétif.



**Figure 40 :** Répartition des précipitations à Sétif

Source : Belaib Issem, 2012.

Dans les zones arides et semi-arides, notamment les hautes plaines Sétifiennes, la céréaliculture sous régime pluvial constitue la principale activité agricole, où la production des céréales reste limitée par les facteurs du climat, spécialement par la pluviométrie. Nous avons donc pris en compte la quantité de précipitations dans les années où nous comparerons la production céréalière.

Le tableau au-dessous, représente la pluviométrie enregistrée durant les campagnes agricoles 2016/17, 2017/18 et 2018/19.

**Tableau 7 :** Précipitations enregistrées au niveau de la wilaya de Sétif durant les campagnes agricoles 2016/17, 2017/18 et 2018/19.

	sep	oct	nov	déc	jan	fev	mar	avr	mai	juin	juillet	Aout	Total (mm)
2016/17	12	15	30	7	0	20	0	6	9	56	0	8	<b>163</b>
2017/18	32	39	56	56	14	23	89	19	52	40	1	0	<b>421</b>
2018/19	25	64	26	26	77	0	27	44	59	0	11	5	<b>364</b>

Sources : ONM (2021)

Les pluies sur les plaines orientales de l’Algérie ont été instables ces dernières années, d’après les données ONM, la campagne agricoles 2016/17 a enregistré un stress hydrique où les précipitations n’ont pas dépassées 163 mm, ce qui est approximativement

43% de la pluviométrie annuelle enregistrée dans la région de Sétif durant la période 2006-2016 (383 mm) (**Labad, 2018**).

La campagne 2017/18 était la plus arrosée par rapport à celles de 2016/2017 et 2018/201 avec un cumul de 421 mm.

La production des céréales est influencée aussi par le facteur semence, le matériel végétal utilisé dans les exploitations agricoles est le suivant :

- **Blé dur « Boussalem »**

C'est une variété d'origine ICARDA-CIMMYT, qui vient de connaître un début d'adoption dans les régions de Tiaret et Sétif. **Pedigree:** Heider/MT/HO DZ- ITGC-Set IC D 86-0414-ABL -OTR -4AP -OTR -14AP -OTR

La dose moyenne de semis utilisée dans les exploitations agricoles étudiées est 170 kg.ha<sup>-1</sup>.

- **Blé tendre « El wifak »**

Le matériel végétal provient du Centre International d'Amélioration du Maïs et du Blé (CIMMYT). La variété a été sélectionnée et introduite au niveau de la ferme semencière de l'ITGC de Sétif. La variété se distingue par la précocité par rapport au HD1220. La hauteur de la plante est moyenne (**Belagrouz, 2013**).

La dose moyenne de semis utilisée dans les exploitations agricoles étudiées est 150 kg.ha<sup>-1</sup>.

- **Orge « Fouara »**

Fouara est une orge à 6 rangs, elle est le résultat d'une sélection de la station de l'institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) de Sétif, sélection faite à l'intérieur du matériel en ségrégation provenant de l'ICARDA (International Center of Agricultural Research in Dry Areas), en 1991/92 (**Benmahammed et al. 2005**). C'est une variété très productive et de bonne stabilité, elle fut inscrite au catalogue national depuis 1997 (**Benmahammed et al. 2005, Menad et al. 2009**).

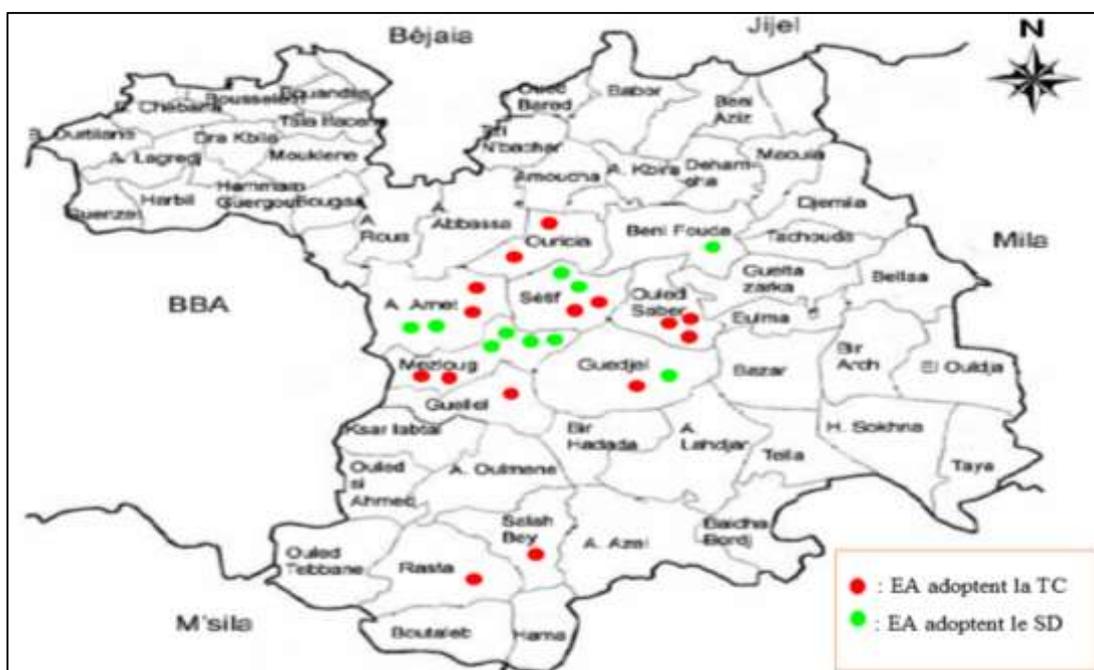
La dose moyenne de semis utilisée dans les exploitations agricoles étudiées est 120 kg.ha<sup>-1</sup>.

### **VI. 3. 3. Les exploitations agricoles étudiées**

Pour notre échantillonnage, la figure (41) représente la situation géographique des exploitations agricoles étudiées (EA), nous avons :

- Trois exploitations agricoles dans le nord sont situées entre 500 et 400 mm d'isotherme, dont :

- Deux EA utilisent la technique conventionnelle.
- Une seule EA adopte le semis direct.
- Dix-neuf exploitations agricoles dans les hautes plaines reçoivent 400 à 300 mm de précipitations, dont :
  - Dix EA utilisent la technique conventionnelle.
  - Neuf EA adoptent le semis direct.
- Trois exploitations dans le sud situées entre les isothermes 300 à 200 mm pratiquent la technique conventionnelle.



**Figure 41** : Situation géographique des exploitations agricoles étudiées.

#### VI. 4. Méthodologie

En vue de répondre à nos questions de recherche, nous avons réalisé une étude sur vingt-cinq exploitations agricoles, quinze (15) d'entre elles adoptent la technique conventionnelle (TC), et dix exploitations, les seules dans toute la wilaya de Sétif qui adoptent le semis direct (SD). L'objectif était de déterminer la consommation d'énergie par hectare pour l'ensemble des opérations agricoles pratiquées (hors récolte), ainsi que le temps de chantier nécessaire, en tenant compte du choix de l'outil aratoire, matériel de traction et l'état de la machine.

Nous avons procédé en deux étapes :

La première étape consistait à récolter pour chaque exploitation agricole des informations sur l'agriculteur (Coordonnées personnels, l'âge, l'ancienneté), les caractéristiques principales de l'exploitation (Statut juridique, taille de l'exploitation, la texture du sol, les techniques culturales utilisées, la mécanisation disponible et l'état de matériels).

La deuxième étape quant à elle est expérimentale, il s'agit de mesurer le temps et la consommation du carburant par une simple méthode, elle consiste à remplir une quantité connue de carburant dans le réservoir du tracteur agricole (généralement le plein où demi-plein) et à démarrer le processus agricole immédiatement après avoir déterminé la superficie (un hectare). Une fois le travail est terminé, nous avons calculé le volume consommé par l'équation suivante :

$$V_C = (V_I - V_F) \cdot S^{-1}$$

Avec :  $V_C$  : le volume du carburant consommé par unité de surface ( $L \cdot ha^{-1}$ ).

$V_I$  : le volume du carburant dans le réservoir avant le travail (L).

$V_F$  : le volume du carburant qui est resté dans le réservoir après le travail (L).

$S$  : la surface travaillée (ha).

Cette méthode d'évaluation est étroitement liée à l'état du tracteur, pour un tracteur en bon état la consommation est plus faible pour la même opération que si celle-ci est réalisée avec un tracteur en mauvais état.

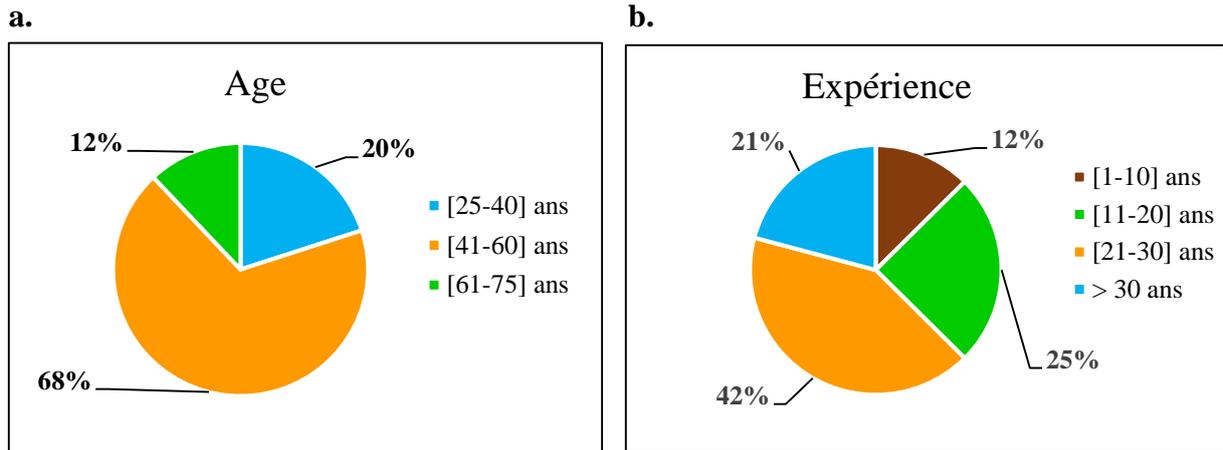
Pour les heures de travail, nous n'avons utilisé un simple chronomètre.

## **VI. 5. Analyse des résultats d'enquête**

L'enquête approfondie réalisée auprès des céréaliculteurs a permis une analyse plus précise des résultats. Pour caractériser, et éventuellement différencier, les caractéristiques des exploitations d'une part et les pratiques en matière de travail du sol d'autre part, nous avons utilisé un certain nombre de critères définis ci-après.

### **VI. 5. 1. Age et expérience des agriculteurs**

Les résultats obtenus sont illustrés par les histogrammes suivants :



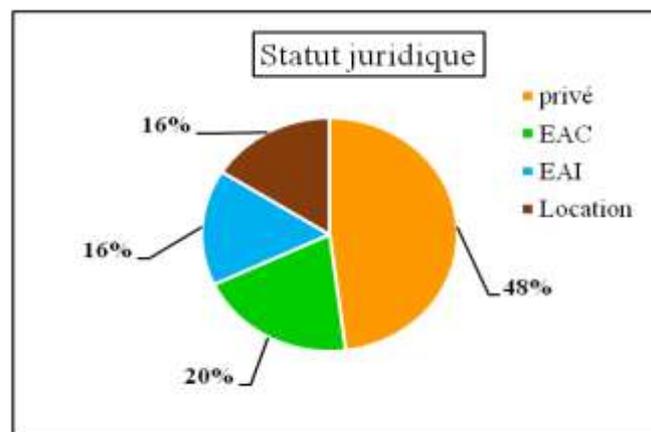
**Figure 42 :** Plages d'âge (a) et l'expérience des agriculteurs(b).

D'après la représentation graphique (figure 42a), le premier constat à faire est que la majorité des agriculteurs enquêtés se trouvent dans l'intervalle [41-60]. L'agriculteur le plus âgé a 70 ans.

Concernant l'expérience, dans la plupart des cas les vieux agriculteurs ont une longue expérience dans le domaine, c'est ce que nous avons constaté dans notre étude (figure 42b), L'âge pourrait avoir un effet sur le choix de la technique culturale, généralement les agriculteurs âgés préfèrent exploiter leur expérience de la technique conventionnelle plutôt que d'adopter des méthodes modernes. Par contre dans notre cas, 70% des agriculteurs qui adoptent le semis direct se trouvent dans l'intervalle d'âge de 40-60.

## VI. 5. 2. Statut juridique

Les résultats obtenus sont illustrés par l'histogramme suivant :



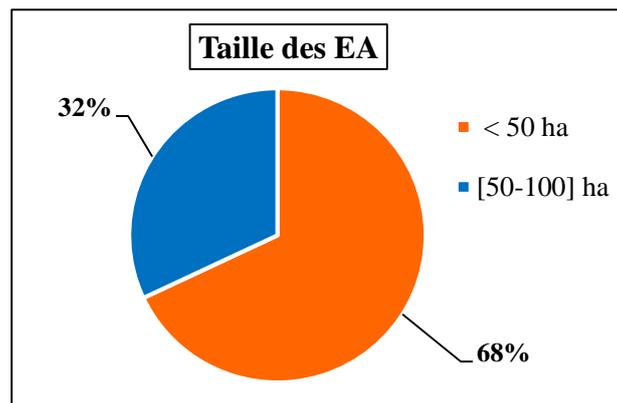
**Figure 43 :** Statut juridique des exploitations agricoles étudiées à Sétif.

D'après la figure (43), la modalité privée représente la majorité des exploitations agricoles enquêtées (48%), On remarque aussi que 16% des exploitations agricoles ont été

constitués par la location des terres arables, dont la plupart de ces terres appartiennent à des exploitations familiales (**E**xploitations **A**gricoles **C**ollectives ou **I**ndividuelles) non exploités par leurs propriétaires.

### VI. 5. 3. Taille des exploitations agricoles

Pour la taille des EA étudiées à Sétif, les résultats obtenus sont illustrés par les histogrammes suivants :



**Figure 44** : Taille des exploitations agricoles étudiées à Sétif.

D'après la figure (44), on remarque que les exploitants agricoles étudiés sont majoritairement de taille modeste (> 50 ha) elles représentent 68 %. A l'échelle nationale, la production des céréales en Algérie est réalisée généralement par des exploitations familiales de taille moins 50 hectares.

### VI. 5. 5. Mécanisation dans les exploitations

En principe, le choix du matériel agricole dépend de la technique culturale à appliquer, nature et l'état du sol au moment d'intervention. Cependant, nous avons remarqués que la disponibilité ou le manque des outils affecte grandement les choix du fellah algérien, quel que soit les conséquences par la suite.

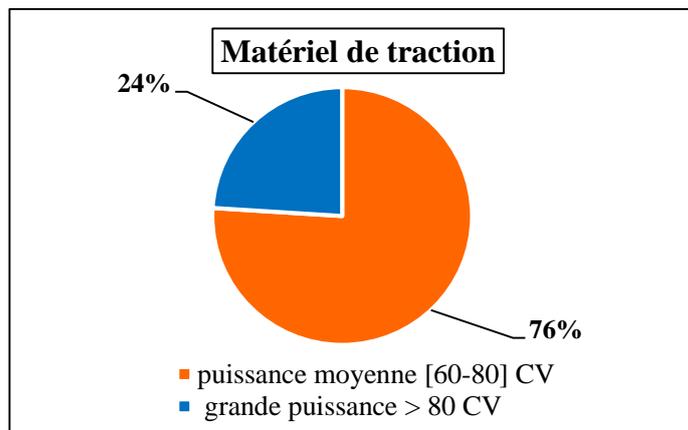
Dans la partie suivante, nous présenterons les différents équipements de préparation du sol dans les exploitations agricoles ayant adopté la technique conventionnelle, ainsi que celles qui ont adopté le semis direct.

#### VI. 5. 5. 1. Pour les exploitations agricoles ayant adopté le travail conventionnel

Cette étude a été réalisée sur une quinzaine d'exploitations agricoles. Dans la partie suivante, nous présenterons les différentes machines utilisées pour la préparation du sol, le semis, la fertilisation et les traitements phytosanitaires.

- **Matériel de traction**

Les résultats obtenus sont illustrés par les histogrammes suivants :



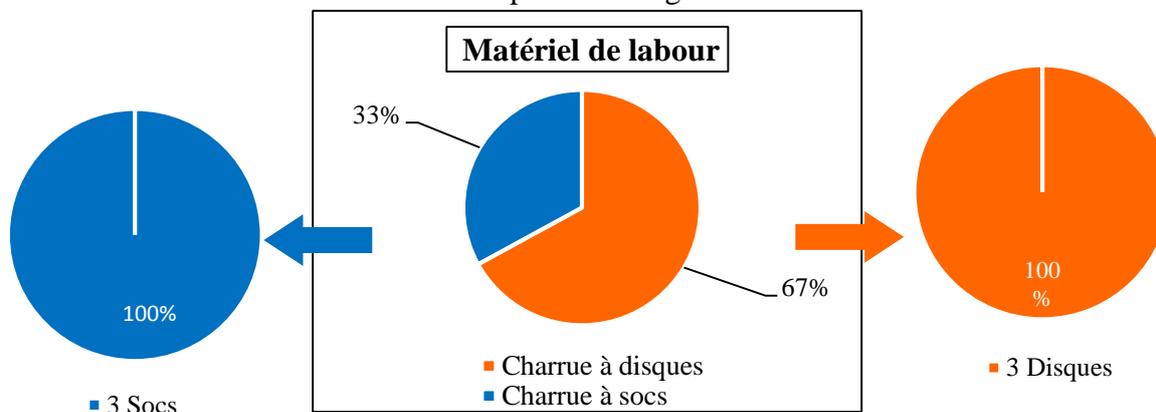
**Figure 45 :** Matériel de traction utilisé dans les exploitations agricoles qui ont adopté TC.

D’après la figure (45), on remarque que les tracteurs agricoles utilisés correspondent à la taille des exploitations agricoles, ce que nous l’appelions précédemment « des exploitations familiales ».

73% des tracteurs agricoles ne dépassent pas 80 CV, 80% d’entre eux sont à deux roues motrices.

- **Matériel de labour**

Les résultats obtenus sont illustrés par les histogrammes suivants :



**Figure 46 :** Matériel de labour utilisé dans les exploitations agricoles qui ont adopté TC.

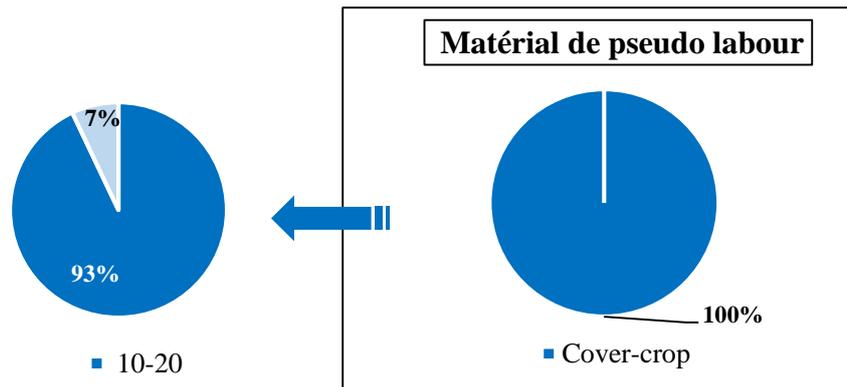
Ces représentations graphiques montrent avant tout que la charrue à disques est beaucoup plus utilisée pour réaliser le labour par rapport à la charrue à socs. Selon les agriculteurs de la région, ce choix est d’intérêt économiques, comme le profil de labour contient de nombreux obstacles tel que les pierres, qui entravent la progression et le travail du corps de charrue à socs et provoquent la rupture des pièces travaillantes (coutre, socs, versoir,

sep et contre sep, talon), cela rend la facture d'entretien par hectare élevée, en raison du cout élevé des pièces.

Quant aux agriculteurs qui ne disposent pas de leurs propres équipements, ils ont recours à la location de divers outils de travail du sol, ce qui soumet ce groupe à l'inévitabilité des outils disponibles.

- **Matériel de pseudo-labour**

Les résultats obtenus sont illustrés par les histogrammes suivants :



**Figure 47 :** Matériel de pseudo labour utilisé dans les exploitations agricoles qui ont adopté TC.

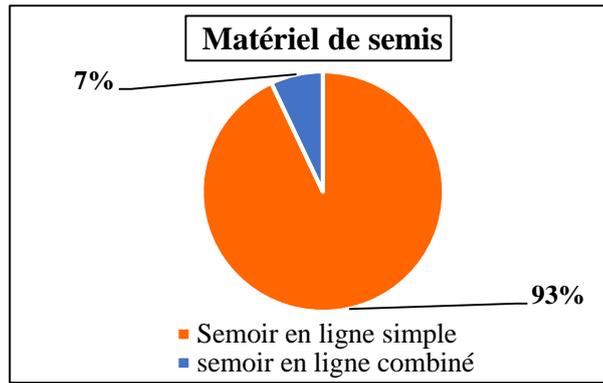
On constate que les outils à disques sont également très répondus pour la reprise de labour, où 100% des exploitations agricoles de la wilaya de Sétif utilisent le cover-crop après le labour. Cela est dû aux mêmes raisons mentionnées précédemment.

Nous avons également noté que la plupart des agriculteurs passent le cover-crop plus d'une fois (des passages croisés), afin d'obtenir une bonne qualité de surface du sol. Ils utilisent cette méthode au lieu de passer d'autres outils de travail superficiel.

D'autres agriculteurs passent également le cover-crop pour recouvrir l'engrais de fond dans le cas où ils le répartissent à la surface du sol, cette méthode compense l'absence du semoir combiné qui distribue directement l'engrais en profondeur (ou lorsque le prix de location est trop élevé).

- **Matériel de semis**

Les résultats obtenus sont illustrés par l'histogramme suivant :



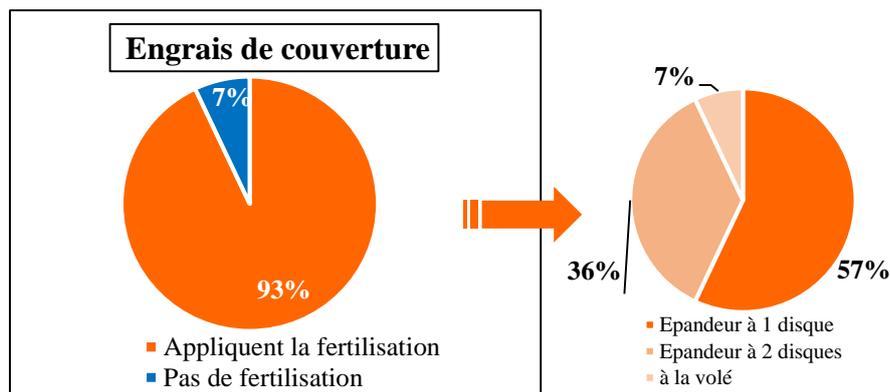
**Figure 48** : Matériel de semis utilisé dans les exploitations agricoles qui ont adopté TC.

D'après l'enquête menée, très peu d'agriculteurs utilisent le semoir combiné (7%) qui permet de réaliser deux opérations en même temps (le semis et la fertilisation). Par contre 93% des exploitations utilisent le semoir en ligne simple (Sola) pour réaliser le semis, et même parfois la fertilisation.

• **Matériel de fertilisation**

Concernent l'épandage d'engrais de fond, dans 7% des exploitations recensées à Sétif, l'épandage d'engrais et le semis se font en même temps (figure 49) grâce au semoir combiné. Pour les agricultures qui n'utilisent pas le semoir combiné (93%), ils utilisent une autre méthode, ils épandent l'engrais à la surface du sol directement après le pseudo labour avec un semoir en ligne ou bien l'épandeur à disque rotatif, suivant d'un passage avec puis le cover-crop pour le recouvrement.

Pour les engrais de couvertures, les résultats obtenus sont représentés dans la figure 54 au-dessous :



**Figure 49** : Matériel d'épandage d'engrais utilisé dans les exploitations agricoles qui ont adopté TC.

D'autre part, certains agriculteurs se dispensent de la fertilisation, où 7% des exploitations agricoles étudiées à Sétif ignorent la fertilisation de couverture. Il faut signaler

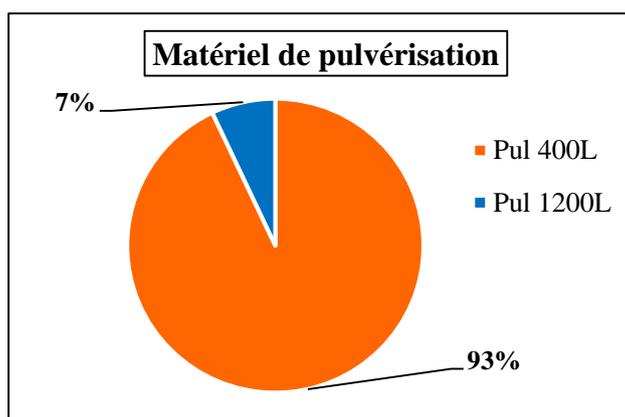
toutefois que pour des raisons économiques, certains agriculteurs utilisent toujours des méthodes d'épandages à la volée.

- **Matériel de pulvérisation**

Dans la plupart des cas, les produits phytosanitaires (généralement les pesticides) sont appliqués par pulvérisation après avoir été mélangé à un diluant, habituellement de l'eau.

A Sétif, 13% des exploitations agricoles étudiées ne font aucun traitement chimique.

Le matériel de traitement utilisé pour le reste des EA est représenté par la figure suivante :

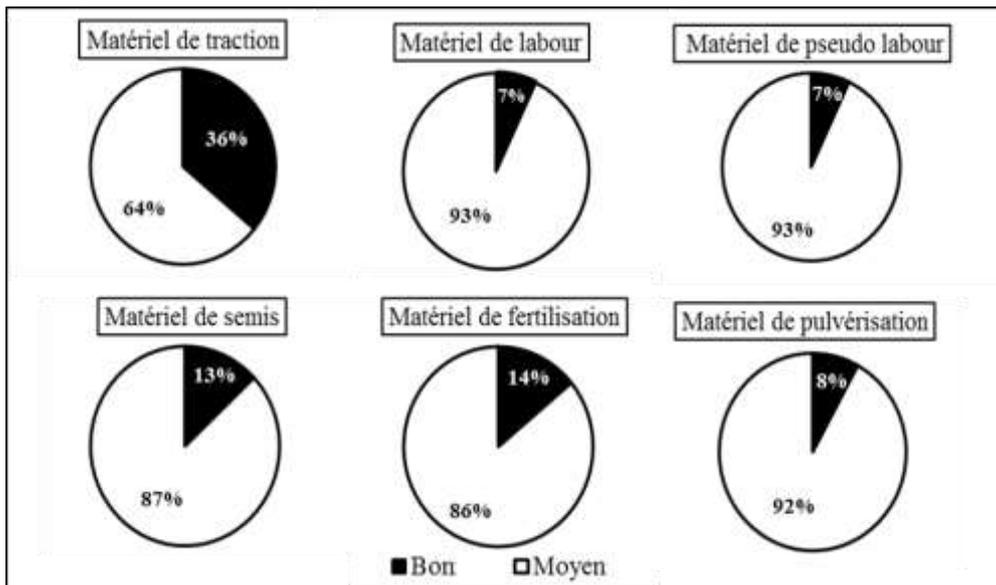


**Figure 50 :** Matériel de pulvérisation utilisé dans les exploitations agricoles qui ont adopté TC.

- **L'état du matériel**

Le matériel agricole utilisé dans les grandes cultures telles que les céréales est plus sensible aux dommages en termes de forme et de dimensions des pièces travaillantes, ce qui se traduit par une baisse de la qualité du travail, en raison de l'immensité des superficies cultivées et du temps d'utilisation très large.

Sur la base des observations que nous avons recueillies lors de notre visite aux différentes exploitations agricoles étudiées à Sétif, et de l'inspection rapides des équipements, nous les avons classés en trois classes (mauvais état, état moyen et bon état). Les résultats sont illustrés par les histogrammes suivants :



**Figure 51 :** Etat du matériel utilisé dans les exploitations agricoles qui ont adoptés TC.

D’après les résultats d’enquête, le premier constat à faire est que le matériel agricole en très mauvais état n’est pas utilisé dans les exploitations agricoles que nous avons visitées à Sétif, cela indique la présence de l’entretien, au minimum une fois par an.

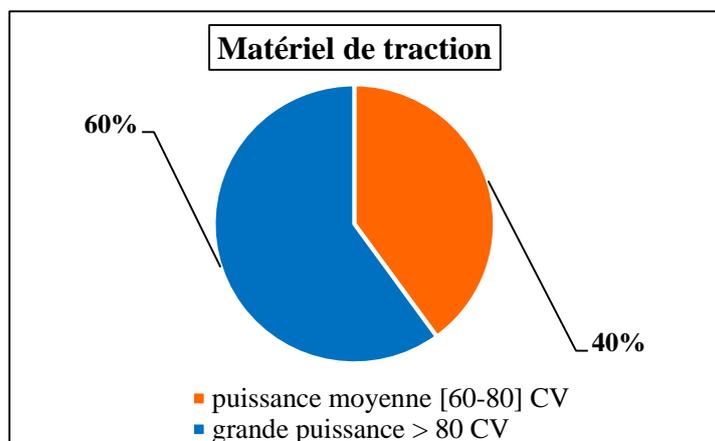
Un certain nombre d’agriculteur ont procédé au remplacement total de l’équipement usé, d’autres par contre, ont remplacé juste les pièces travaillantes usées.

#### VI. 5. 5. 2. Pour les exploitations agricoles ayant adopté le semis direct

Cette étude a été menée sur dix exploitations agricoles. Dans cette partie, nous présenterons les différentes machines utilisées pour le semis, la fertilisation et le traitement phytosanitaire.

- **Matériel de traction**

Les résultats obtenus sont illustrés par l’histogramme suivant :



**Figure 52 :** Matériel de traction utilisé dans les exploitations agricoles qui ont adoptés SD.

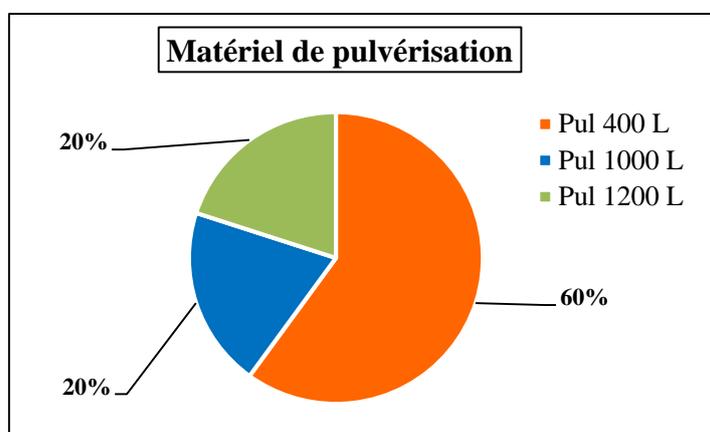
Pour le matériel de traction utilisé dans les exploitations agricoles qui adoptent le système semis direct, la figure (52) montre que la puissance de 60% des tracteurs agricoles utilisés dépasse les 80 cv à quatre roues motrices. Cela est expliqué par les exigences en puissance du système de semis direct (poids du semoir de semis direct important).

- **Matériel de pulvérisation**

Pour le semis direct, la lutte chimique contre les mauvaises herbes est très nécessaire pour compenser la lutte mécanique, c'est à dire le retournement de la bande de terre assuré par l'action de la charrue.

Le constat qui a été réalisé sur les dix exploitations visitées, est que les agriculteurs traitent au moins une fois avant le semis.

Le matériel de traitement utilisé est représenté par la figure au-dessous :



**Figure 53 :** Matériel de pulvérisation utilisé dans les exploitations agricoles qui ont adopté le SD.

Par ailleurs, 60% des céréaliculteurs possèdent un pulvérisateur de 400L contre 20% qui ont un 1200L, cela signifie que le matériel de pulvérisation présent reste loin des standards internationaux ainsi que les exigences de l'agriculture moderne.

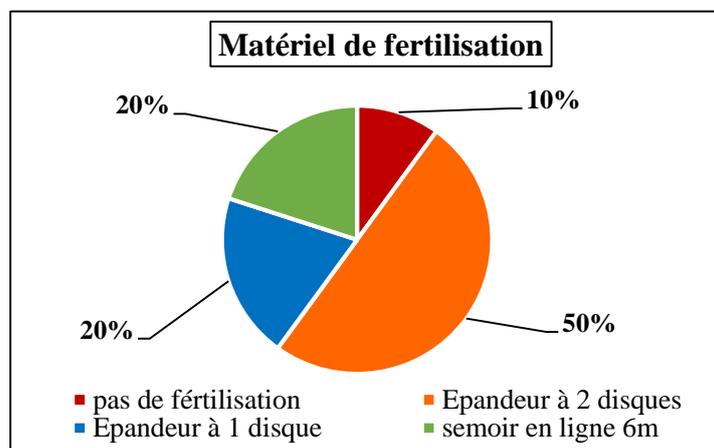
- **Matériel de semis**

Par rapport au labour, la mise en œuvre des TCS induit trois effets directs selon la technique employée : le sol n'est pas retourné, le nombre de passages d'engins diminue et l'intensité de sa fragmentation est réduite. Le moyen utilisé dans les exploitations agricoles qui adoptent le semis direct se limite au semoir spécialisé à double disques (ouvre sillon), et des roues tasseuses. Au même temps, ce semoir permet l'épandage en profondeur des engrais de fond.

Ce type de semoir n'est pas disponible chez les agriculteurs en raison de son prix élevé, ils utilisent généralement le semoir de l'institut techniques des grandes cultures de Sétif.

- **Matériel de fertilisation**

Les résultats obtenus sont illustrés par l'histogramme suivant :

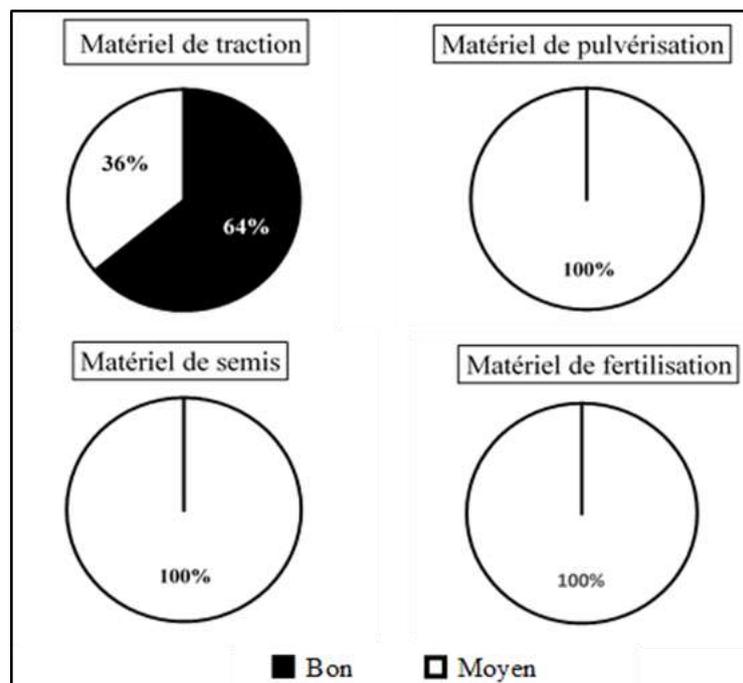


**Figure 54 :** Matériel de fertilisation utilisé dans les exploitations agricoles menées en SD.

Les outils utilisés pour l'épandage d'engrais de couverture diffèrent d'une EA à l'autre, 50% des agriculteurs utilisent l'épandeur à deux disques, 20% utilisent l'épandeur à un seul disque, 20% utilisent un semoir en ligne à 6 mètre de largeur. 10% des exploitations agricoles n'utilisent pas de fertilisations de couverture.

- **L'état du matériel**

L'état du matériel utilisé dans les exploitations agricoles qui adoptent semis direct est illustré par la figure suivante :



**Figure 55 :** Etat du matériel utilisé dans les exploitations agricoles qui ont adopté SD.

D'après les résultats obtenus, 64% des tracteurs agricoles utilisés pour le semis direct sont en bon état, alors que toutes les autres machines agricoles sont à l'état moyen.

## VI. 6. Analyse de la consommation énergétique pour la production céréalière à Sétif

L'adoption et la mise en œuvre de nouveaux itinéraires techniques (sans labour) sont freinées notamment pour des raisons d'ordre économique (la consommation du temps et du carburant). Le temps de travail correspond au temps de traction, la simplification du travail en contexte de technique culturale sans labour (TCSL) conduit à un déplacement plus faible du volume de terre. De ce fait, le temps de traction par hectare est réduit.

Le temps de travail et le nombre de passages diminués en contexte TCSL se reflètent dans la consommation en carburant totale réduite par rapport au contexte labour (TC).

Dans la partie suivante, nous allons déterminer le volume d'énergie consommé par les deux techniques culturales, travail conventionnel et le semis direct, avec une comparaison à la fin entre les différents niveaux de consommation. Ces mesures ont été effectuées sur des parcelles plus ou moins plates, dans ce cas-là, l'effet de la pente est négligé.

### VI. 6. 1. Pour les exploitations agricoles ayant adopté le travail conventionnel

Conventionnellement, la chaîne d'outils aratoires adoptée au niveau de la méthode classique se compose de trois étapes fondamentales : le travail profond avec une charrue, la reprise de labour avec outils à dents et/ou à disques, et finalement le travail superficiel. Le

niveau de consommation d'énergie varie en fonction de la force de résistance du sol et de sa cohésion (affectée par les étapes précitées) ainsi que la profondeur de travail.

D'autres sources de consommation d'énergie qui font une différence significative seront considérées en cas de fréquence élevée, comme l'épandage d'engrais et les traitements chimiques.

- **Le labour**

Les consommations du carburant et le temps nécessaire pour labourer un hectare dans les exploitations agricoles étudiées à Sétif sont illustrés par les tableaux suivants :

**Tableau 8 :** Consommation du temps et du carburant pour labourer un hectare par une charrue à 3 socs.

EA	Texture du sol	Tracteur (CV)	P <sub>moy</sub> (cm)	Temps (h/ha)			Carburant (L/ha)		
				2017 2018	2018 2019	Moy	2017 2018	2018 2019	Moy
2	Argilo-limoneuse	100CV	37	2,87	3,22	3,05	40,2	39,2	39,7
3	Argilo-limoneuse	68CV	30	3,77	4,2	3,99	36,5	39,5	38
5	Argilo-limoneuse	90CV	32	2,82	2,72	2,77	32	28,2	30,1
9	Argilo-limoneuse	80CV	27	4,37	5,27	4,82	38,2	41,8	40
10	Argilo-limoneuse	68CV	32	1,87	2,22	2,05	31,4	27,4	29,4

Pour le cas de la charrue à trois socs, ou le labour est profond (la profondeur est supérieure à 25 cm). On remarque aussi que pour les tracteurs agricoles de grande puissance (supérieure à 80 cv), c'est-à-dire EA2 et EA5, il existe une relation proportionnelle entre le temps nécessaire pour labourer un hectare et la profondeur de labour, où le conducteur doit travailler avec une faible vitesse d'avancement pour les grandes profondeurs de travail. Le temps varie entre 2h 46min et 3h 3min. la même relation aussi pour la consommation du carburant où le volume consommé varie entre 30,1 L et 39,7 L.

Par contre pour les tracteurs agricoles de moyenne puissance (entre 60 cv et 80 cv), c'est-à-dire EA3, EA9 et EA10 ; la relation est inversement proportionnelle, la raison en est qu'il y a une différence dans l'état des matériels utilisés. Pour EA10, le matériel de labour utilisé (tracteur + charrues) de bon état consomme moins de temps et de carburant (2h 3min ; 29,4 L) par rapport au matériel utilisé dans EA3 avec un tracteur de moyen état et une charrue de bon état (3h 59min ; 38 L), la même chose par rapport à EA9 où le tracteur et la charrue utilisés sont dans un état moyen (4h 49min ; 40 L). Cela nous permet de conclure que l'état du matériel a un effet notable sur la consommation de temps et de carburant pendant le labour.

**Tableau 9 :** Consommation du temps et du carburant pour labourer un hectare par une charrue à 3 disques.

E A	Texture du sol	Tracteur (CV)	P <sub>moy</sub> (cm)	Temps (h/ha)			Carburant (L/ha)		
				2017 2018	2018 2019	Moy	2017 2018	2018 2019	Moy
6	Argileuse	68CV	22	2,7	3,2	2,95	35,5	38,5	37
7	Argileuse	75CV	32	2,87	3,22	3,05	28,4	33	45,7
8	Argileuse	68CV	25	2,78	3,24	3,01	23,5	25,4	39,5
11	Argilo-limoneuse	60CV	35	3,82	3,72	3,77	42,7	38,9	40,8
12	Argileuse	65CV	28	2,77	3,2	2,99	21,1	24,5	39,8
13	Argilo-limoneuse	68CV	22	1,87	2,31	2,09	31	29,4	30,4
14	Argilo-limoneuse	68CV	30	3,82	3,62	3,72	32,9	36,9	34,9
19	Argileuse	60CV	40	3,72	3,73	3,73	33,4	37,8	50,6
21	Argilo-limoneuse	60CV	27	3,37	3,77	3,57	34,7	31,3	33
25	Argileuse	68CV	35	3,22	3,87	3,55	29,9	33,6	46,8

Pour le cas de la charrue à trois disques, le premier constat à faire est que le matériel de traction utilisé est de moyenne puissance (entre 60 et 75 cv).

Pour les sols argileux (EA6, EA7, EA8, EA12, EA19 et EA25), on remarque que le temps de travail et le volume de carburant consommé augmentent avec l'augmentation de la profondeur de labour, ils passent de 2h 57min et 37 L pour 22cm de profondeur à 3h 44min et 50,6 L pour 40 cm de profondeur.

La même relation a été remarquée pour les sols argilo-limoneux (EA11, EA13, EA14 et EA21), le temps et la consommation du carburant passent de 2h 5min et 30,4 L pour 22cm de profondeur à 3h 46min et 40,8 pour 35 cm de profondeur.

Entre les deux types de sol étudiés, et avec le même type de charrue utilisée, on remarque que le sol argileux nécessite plus de temps et consomme plus de carburant d'un sol argilo-limoneux pour labourer un hectare.

- **La reprise de labour**

Avec les mêmes tracteurs agricoles utilisés pour le labour, et par l'utilisation du cover-crops (10-20 cm), les consommations de carburant et du temps nécessaire pour réaliser le pseudo-labour d'un hectare dans les exploitations agricoles étudiés à Sétif sont illustrés par les tableaux suivants :

**Tableau 10** : Consommation du temps et du carburant pour la reprise de labour d'un hectare labouré par une charrue à 3 socs.

EA	Texture du sol	Tracteur (CV)	P <sub>moy</sub> (m)	N. Psg	Temps (h/ha/passage)			Carburant (L/ha)		
					2017 2018	2018 2019	Moy	2017 2018	2018 2019	Moy
2	Argilo-limoneuse	100CV	17,5	2	1,4	1,5	1,45	15,1	16,9	16
3	Argilo-limoneuse	68CV	15	2	1,15	1,3	1,23	8,7	10,3	9,5
5	Argilo-limoneuse	90CV	15	2	0,9	1,05	0,95	7	8,6	7,8
9	Argilo-limoneuse	80CV	15	2	1,9	1,95	1,93	13,6	15,2	14,4
10	Argilo-limoneuse	68CV	15	2	1,15	1,35	1,25	8,2	9,8	9

D'après le tableau (10), le premier constat à faire est que la reprise de labour a été réalisée en utilisant deux passages de cover-crop croisés.

Pour les tracteurs agricoles de grande puissance (supérieure à 80 cv), c'est-à-dire EA2 et EA5, il existe une relation proportionnelle entre la profondeur de la reprise de labour et le temps nécessaire pour réaliser cette opération et le volume de carburant consommé, pour une profondeur de 15 cm, le temps nécessaire est 57 min en consommant 7,8 L de carburant, alors que pour la profondeur de 17,5 cm, le temps nécessaire est 1h 27 min en consommant 16 L de carburant. Par contre pour les tracteurs agricoles de moyenne puissance (entre 60 cv et 80 cv), c'est-à-dire EA3, EA9 et EA10 ; on remarque que la profondeur de la reprise est constante (15 cm). On peut confirmer l'effet de l'état du matériel sur la consommation du temps et du carburant, on voit que plus le matériel de traction et/ou du pseudo-labour en état dégradé, moins son efficacité et ses performances, ce qui nécessite plus d'énergie.

**Tableau 11** : Consommation du temps et du carburant pour la reprise de labour d'un hectare labouré par une charrue à 3 disques.

EA	Texture du sol	Tracteur (CV)	P <sub>moy</sub> (m)	N. Psg	Temps (h/ha/passage)			Carburant (L/ha)		
					2017 2018	2018 2019	Moy	2017 2018	2018 2019	Moy
6	Argileuse	68CV	15	2	1,4	1,5	1,45	10,6	12,2	11,4
7	Argileuse	75CV	17,5	3	0,73	0,9	0,82	6,8	8,2	7,5
8	Argileuse	68CV	17,5	1	0,9	1,1	1	8	8,2	8,1
11	Argilo-limoneuse	60CV	15	2	1,4	1,65	1,53	10	11,8	10,8
12	Argileuse	65CV	15	2	1,4	1,5	1,45	10,5	12,1	11,3
13	Argilo-limoneuse	68CV	17,5	1	0,9	1,2	1,1	7	8,8	7,9
14	Argilo-limoneuse	68CV	17,5	2	0,9	1	0,95	7,5	9,3	8,4
19	Argileuse	60CV	15	3	2,4	2,6	2,5	17,2	18,8	18
21	Argilo-limoneuse	60CV	15	3	2,4	2,5	2,45	17,2	18,1	17,7
25	Argileuse	68CV	15	2	1,9	2	1,95	13,6	15,3	14,5

D'après le tableau (11), et quel que soit la texture du sol (argileuse ou argilo-limoneuse), la reprise de labour à 17,5 cm nécessite un temps et volume de carburant inférieur qu'une reprise à 15 cm, cela est dû au bon état des cover-crops utilisées chez les exploitations agricoles EA7, EA8, EA13 et EA14 ; alors que le matériel utilisé chez le reste des exploitations agricoles est en état moyen.

On remarque aussi que le nombre de passage nécessaire varie entre 1 et 3, selon la qualité de surface que l'agriculteur veut l'atteindre dans le cadre de la préparation de lit de semence, on peut donc le considérer comme un choix personnel.

- **Semis conventionnel en ligne**

Après les opérations de préparation du sol, intervient le semis qui se fait chez toutes les exploitations agricoles étudiées par un semoir en ligne (AGRIC).

Avec les mêmes tracteurs agricoles utilisés précédemment, et sachant que la profondeur moyenne du semis utilisée est estimée à 2,5 cm, les consommations du carburant et le temps nécessaire pour semer un hectare dans les exploitations agricoles étudiés à Sétif sont illustrés par le tableau suivant :

**Tableau 12** : Consommation du temps et du carburant pour semer un hectare (TC).

EA	Type de Semoir	Temps (h/ha)			Carburant (L/ha)		
		2017/18	2018/19	Moyenne	2017/18	2018/19	Moyenne
2	Simple	0,67	0,7	0,69	8,1	8,9	8,5
3	Simple	0,5	0,53	0,52	4,9	5,5	5,2
5	<b>Combiné</b>	0,25	0,27	0,26	3,2	3,6	3,4
6	Simple	1	1,07	1,04	8	9,2	8,6
7	Simple	0,55	0,53	0,54	5,1	5,7	5,4
8	Simple	0,75	0,8	0,78	7,5	8,5	8
9	Simple	1,5	1,62	1,56	11,7	13,1	12,4
10	Simple	0,5	0,53	0,52	4,9	5,5	5,2
11	Simple	0,5	0,53	0,52	4,7	5,3	5
12	Simple	1	1,07	1,04	8,3	8,5	8,4
13	Simple	1	1,07	1,04	9,6	10,8	10,2
14	Simple	0,75	0,8	0,78	7,2	8,2	7,7
19	Simple	0,5	0,53	0,52	4,7	5,3	5
21	Simple	0,5	0,53	0,52	4,7	5,3	5
25	Simple	0,58	0,7	0,64	6,6	7,4	7

Cette opération (le semis) montre également l'effet de l'état du matériel sur la consommation du temps et de carburant :

- Tracteur agricole et semoir de bon état : le cas de 'EA5', nécessite 16 min de temps et consomme 3,4 L de carburant seulement.
- Tracteur agricole de bon état et un semoir de moyen état : le cas de 'EA7, EA10, EA21', nécessitent entre 31 et 32 min de temps et entre 5 et 5,4 L de carburant.
- Tracteur agricole de moyen état et semoir de bon état : le cas de 'EA2', nécessite 41 min de temps et 8,5 L de carburant.
- Tracteur agricole et semoir d'état moyen : le cas de le reste des EA, nécessitent entre 31 et 1h 33min de temps et entre 5 et 12,4 L de carburant.

D'après les résultats précédents et par rapport à la préparation du lit de semence, on peut subdiviser les travaux du sol en quatre itinéraires :

- Un labour profond avec une charrue trisocs et deux passages de cover-crop croisés : où le semis nécessite en moyenne 42 min de temps et 6,9 L de carburant.
- Un labour profond avec une charrue à trois disques et un seul passage du cover-crop : où le semis nécessite en moyenne 55 min de temps et 9,1 L de carburant.
- Un labour profond avec une charrue à trois disques et deux passages de cover-crop croisés : où le semis nécessite en moyenne 49 min de temps et 7,3 L de carburant.
- Un labour profond avec une charrue à trois disques et trois passages du cover-crop croisés : où le semis nécessite en moyenne 32 min de temps et 5,1 L de carburant.

- **Pulvérisation**

Les traitements chimiques ont été réalisés avec un pulvérisateur à jet projeté, au régime de la prise de force de 540 tr/min. Avec les mêmes tracteurs agricoles utilisés avant, les consommations du carburant et le temps nécessaire pour traiter un hectare dans les exploitations agricoles étudiés à Sétif sont illustrés par le tableau suivant :

**Tableau 13** : Consommation du temps et du carburant pour traiter un hectare (TC).

EA	L <sub>t</sub> (m)	N.T	Temps (h/ha)			Carburant (L/ha)		
			2017/18	2018/19	Moyenne	2017/18	2018/19	Moyenne
2	8	1	0,3	0,53	0,42	11,5	12,3	11,9
3								
5	12	1	0,15	0,18	0,17	2,7	3,1	2,9
6	8	1	0,47	0,53	0,5	7,6	8,8	8,2
7	8	1	0,47	0,53	0,5	7,7	8,9	8,3
8								
9	8	2	0,7	0,8	0,75	13	14,8	13,9
10	8	1	0,47	0,53	0,5	7,6	8,8	8,2
11	8	1	0,68	0,82	0,75	9,7	11,5	10,6
12	8	1	0,23	0,27	0,25	4	4,6	4,3
13	8	1	0,77	0,9	0,84	12	14	13
14	8	1	0,32	0,35	0,34	5,3	6,1	5,7
19	8	1	0,23	0,25	0,24	3,7	4,3	4
21	8	1	0,23	0,22	0,23	3,7	4,1	3,9
25	8	1	0,23	0,27	0,25	4,1	4,3	4,2

Cette opération (traitement chimique) montre encore l'effet de l'état du matériel sur la consommation de temps et de carburant :

- Tracteur agricole et pulvérisation de bon état : le cas de 'EA5', elle nécessite 10 min de temps et consomme 2,9 L de carburant seulement, sachant que la largeur de travail est importante (12 m) par rapport aux autres pulvérisations (8 m).
- Tracteur agricole de bon état et un pulvérisateur de moyen état : le cas de 'EA7, EA10, EA21', elles nécessitent entre 14 et 30 min de temps et entre 3,9 et 8,3 L de carburant.
- Tracteur agricole et semoir d'état moyen : le cas de le reste des EA, elles nécessitent entre 14 et 50 min de temps et entre 4 et 13 L de carburant.

#### • Fertilisation

Avec les mêmes tracteurs agricoles utilisés avant, les consommations du carburant et le temps nécessaire pour appliquer une fertilisation d'un hectare dans les exploitations agricoles étudiés à Sétif sont illustrés par les tableaux suivants :

**Tableau 14** : Consommation du temps et du carburant pour appliquer l’engrais de fond dans un hectare (TC).

E A	Outil	Temps (h/ha)			Carburant (L/ha)		
		2017/18	2018/19	Moyenne	2018/19	2017/18	Moyenne
2	Epandeur 1Dq	0,48	0,52	0,5	11,5	11,9	11,7
3							
5	Semoir combiné	-	-	-	-	-	-
6	Epandeur 1Dq	0,33	0,33	0,33	5,8	6	5,9
7	Epandeur 1Dq	0,96	1,02	0,99	15,4	16	15,7
8							
9	Epandeur 1Dq	0,82	0,85	0,84	15	15,6	15,3
10	Semoir en ligne	0,48	0,5	0,49	8	8,4	8,2
11							
12	Epandeur 1Dq	0,47	0,51	0,49	7,6	8	7,8
13	Epandeur 1Dq	0,33	0,33	0,33	5,7	5,9	5,8
14	Epandeur 2Dq	0,25	0,25	0,25	4,3	4,5	4,4
19	Epandeur 1Dq	0,25	0,25	0,25	3,9	4,1	4
21	Epandeur 2Dq	0,25	0,25	0,25	3,9	4,1	4
25	Epandeur 2Dq	0,32	0,35	0,34	5,6	5,8	5,7

Pour les engrais de fond, on peut subdiviser la réalisation de cette opération en trois méthodes selon l’outil utilisé :

- Semoir combiné : il permet de réaliser deux opérations en même temps, cela réduit la facture du carburant.
- Epandeur à un seul disque distributeur avec un passage de cover-crop pour assurer le recouvrement : le cas de ‘EA2, EA6, EA7, EA9, EA12, EA13 et EA19’, elles nécessitent entre 1h 26 min et 2h 46 min de temps et entre 13,7 et 29,7 L de carburant.
- Epandeur à deux disques distributeurs avec un passage de cover-crop : le cas de ‘EA14, EA21 et EA25’, elles nécessitent entre 1h 12 min et 2h 42 min de temps et entre 12,8 et 21,7 L de carburant.
- Semoir en ligne avec un passage de cover-crop : le cas de ‘EA10’, elle nécessite entre 1h 44 min de temps et 17,2 L de carburant.

**Tableau 15** : Consommation du temps et du carburant pour appliquer l’engrais de couverture dans un hectare (TC).

EA	Outil	Temps (h/ha)			Carburant (L/ha)		
		2017/18	2018/19	Moyenne	2018/19	2017/18	Moyenne
2	Epandeur 1Dq	0,47	0,51	0,49	11,1	12,3	11,7
3	Epandeur 2Dq	0,32	0,35	0,34	5,2	6	5,6
5	Epandeur 2Dq	0,17	0,17	0,17	3,4	3,8	3,6
6	Epandeur 1Dq	0,32	0,35	0,34	5,4	6,2	5,8
7	Epandeur 1Dq	0,23	0,27	0,25	4,1	4,7	4,4
8							
9	Epandeur 1Dq	0,78	0,88	0,83	14,3	16,3	15,3
10	A la volé	Selon l’effectif	Selon l’effectif	/	/	/	/
11	Epandeur 1Dq	0,23	0,28	0,26	3,7	4,3	4
12	Epandeur 1Dq	0,47	0,53	0,5	7,2	8,4	7,8
13	Epandeur 1Dq	0,32	0,35	0,34	5,2	6	5,6
14	Epandeur 2Dq	0,24	0,27	0,26	4,2	4,8	4,5
19	Epandeur 1Dq	0,21	0,27	0,24	3,7	4,3	4
21	Epandeur 2Dq	0,22	0,26	0,24	3,7	4,3	4
25	Epandeur 2Dq	0,25	0,27	0,26	4,1	4,7	4,4

Pour les engrais de fond, on peut subdiviser la réalisation de cette opération en deux, selon l’outil utilisé (la largeur de travail plus précisément) :

- Epandeur à un seul disque distributeur : le cas de ‘EA2, EA6, EA7, EA9, EA11, EA12, EA13 et EA19’, elles nécessitent entre 14 min et 50 min de temps et entre 4 et 15,3 L de carburant.
- Epandeur à deux disques distributeurs : le cas de ‘EA14, EA21 et EA25’, elles nécessitent entre 1h 12 min et 2h 42 min de temps et entre 12,8 et 21,7 L de carburant.

## VI. 6. 2. Pour les exploitations agricoles ayant adopté le semis direct

Le semis direct est système de culture dans lequel les semences sont déposées directement dans le sol non travaillée. L’objectif de ce système est de limité le nombre de passage des outils, les socs et les disques de ce semoir ont donc une action plus agressive comparativement au semoir conventionnel.

Cette technique est basée sur trois processus principaux, le traitement chimique pour compenser l’efficacité du labour pour éliminer mécaniquement les mauvaises herbes (lutte mécanique), le semis par un semoir spécial, ainsi que la fertilisation (de fond et de couverture).

- **Traitement chimique**

Les traitements chimiques ont été réalisés avec un pulvérisateur à jet projeté, au régime de la prise de force de 540 tr/min. Les consommations du temps et du carburant nécessaire pour traiter un hectare (avec un désherbant total) avant le semis sont illustrés par le tableau suivant :

**Tableau 16 :** Consommation du temps et du carburant pour traiter un hectare (SD).

EA	Tracteur (CV)	L <sub>t</sub> (m)	N.T	Temps (h/ha)			Carburant (L/ha)		
				2017/18	2018/19	Moyenne	2017/18	2018/19	Moyenne
1	150 CV	8	1	0,7	0,8	0,75	14,5	16,3	15,4
4	60 CV	8	1	0,45	0,55	0,5	6,7	7,9	7,3
15	68 CV	10	2	0,27	0,3	0,29	4,6	5,2	4,9
16	85 CV	12	2	0,15	0,18	0,17	3,6	4	3,8
17	68 CV	10	2	0,21	0,25	0,23	3,5	4,1	3,8
18	60 CV	8	2	0,23	0,27	0,25	3,7	4,3	4
20	60 CV	8	2	0,24	0,28	0,26	3,8	4,4	4,1
22	68 CV	8	2	0,25	0,28	0,27	4,4	5	4,7
23	68 CV	8	2	0,22	0,25	0,24	3,8	4,4	4,1
24	68 CV	8	2	0,32	0,35	0,34	5,3	6,1	5,7

Pour la lutte chimique contre les mauvaises herbes, on peut subdiviser la réalisation de cette opération en trois, selon la largeur de travail du pulvérisateur utilisé :

- Rampe à 8m de largeur : le cas de ‘EA1, EA4, EA18, EA20, EA22, EA23 et EA19’, elles nécessitent entre 15 min et 45 min de temps et entre 4 et 15,3 L de carburant.
- Rampe à 10m de largeur : le cas de ‘EA15 et EA17’, elles nécessitent entre 14 min et 17 min de temps et entre 3,8 et 4,9 L de carburant.
- Rampe à 12m de largeur : le cas de ‘EA16’, elle nécessite 10 min de temps et 3,8 L de carburant.

- **Semis et épandage d’engrais de fond**

Le semis qui se fait chez toutes les exploitations agricoles étudiées par le même semoir de semis direct de l’institut technique des grandes cultures de la wilaya de Sétif.

Avec les mêmes tracteurs agricoles utilisés précédemment, et sachant que la profondeur moyenne du semis utilisée est estimée à 2,5 cm, les consommations du carburant et le temps nécessaire pour semer un hectare sont illustrés par le tableau suivant :

**Tableau 17** : Consommation du temps et du carburant pour semer un hectare (SD).

EA	Texture du sol	Tracteur (CV)	Temps (h/ha)			Carburant (L/ha)		
			2017/18	2018/19	Moyenne	2017/18	2018/19	Moyenne
1	Argileuse	150 CV	0,25	0,27	0,26	5,4	5,7	5,5
4	Argileuse	60 CV	1	1,07	1,04	8,7	9,9	9,3
15	Argilo-limoneuse	68 CV	0,83	0,92	0,88	7,2	8,2	7,7
16	Argilo-limoneuse	85 CV	0,76	0,81	0,79	6,6	7,7	7,2
17	Argileuse	68 CV	0,75	0,8	0,78	6,5	7,5	7
18	Argileuse	60 CV	0,73	0,77	0,75	6,3	7,3	6,8
20	Argilo-limoneuse	60 CV	0,5	0,53	0,52	4,4	5	4,7
22	Argilo-limoneuse	68 CV	0,58	0,63	0,61	5	5,8	5,4
23	Argileuse	68 CV	0,67	0,72	0,7	5,9	6,7	6,3
24	Argileuse	68 CV	0,58	0,63	0,61	5	5,8	5,4

Nous avons remarqué que l'état du semoir de semis direct est moyen, alors que l'état le matériel de traction utilisé fait une différence très remarquable :

- Tracteur agricole de bon état : le cas de 'EA1, EA17, EA20, EA22, EA23 et EA24', elles nécessitent entre 16 min et 47 min de temps et entre 2,5 et 7 L de carburant.
- Tracteur agricole de moyen état : le cas de 'EA4, EA15, EA16 et EA18', elles nécessitent entre 45 min et 1h 2 min de temps et entre 6,8 et 9,3 L de carburant.

- **Engrais de couverture**

Avec les mêmes tracteurs agricoles utilisés avant, les consommations du carburant et le temps nécessaire pour appliquer une fertilisation d'un hectare sont illustrés par le tableau suivant :

**Tableau 18** : Consommation du temps et du carburant pour appliquer l’engrais de couverture dans un hectare (SD).

EA	Outil	Temps (h/ha)			Carburant (L/ha)		
		2017/18	2018/19	Moyenne	2018/19	2017/18	Moyenne
1							
4	Epandeur 2Dq	0,3	0,37	0,34	4,7	5,5	5,1
15	Epandeur 2Dq	0,23	0,27	0,25	4,1	4,7	4,4
16	Semoir 6m	0,32	0,35	0,34	5,3	6,1	5,7
17	Semoir 6m	0,23	0,27	0,25	3,7	4,3	4
18	Epandeur 2Dq	0,23	0,28	0,26	3,7	4,4	4,1
20	Epandeur 1Dq	0,21	0,25	0,23	3,5	4,1	3,8
22	Epandeur 2Dq	0,24	0,27	0,26	5,5	6	5,8
23	Epandeur 1Dq	0,28	0,32	0,3	6,2	7	6,6
24	Epandeur 2Dq	0,15	0,18	0,17	2	2,4	2,2

Nous avons remarqué que l’état du semoir de semis direct est moyen, alors que l’état le matériel de traction utilisé fait aussi une différence remarquable :

- Epandeur à un seul disque distributeur tracté par des tracteurs agricoles de bon état : le cas de ‘EA20 et EA23’, elles nécessitent entre 14 min et 18 min de temps et entre 3,8 et 6,6 L de carburant.
- Epandeur à deux disques distributeurs :
  - Epandeur à deux disques distributeurs tracté par des tracteurs de moyen état : le cas de ‘EA4, EA15 et EA18’, elles nécessitent entre 15 min et 20 min de temps et entre 4,4 et 5,1 L de carburant.
  - Epandeur à deux disques distributeurs tracté par des tracteurs de bon état : le cas de ‘EA22 et EA24’, elles nécessitent entre 10 min et 16 min de temps et entre 2,2 et 5,8 L de carburant.
- Semoir en ligne (6m) : le cas de ‘EA16’ où le tracteur utilisé est de moyen état, elle nécessite 20 min de temps et 5,7 L de carburant. Et le cas de ‘EA17’ où le tracteur utilisé est de bon état, elle nécessite 15 min de temps et 4 L de carburant.

## **VI. 7. Analyse comparée de la consommation en temps et en carburant des différentes étapes de l’itinéraire technique pour la production de 01 ha de céréales à Sétif**

Nous reproduisons ci-dessous la moyenne de consommation en temps et en énergie des deux principales techniques de préparation du sol ou de mise en place des cultures dans les deux textures (Argileuse et Argilo-limoneuse).

➤ **Pour les sols argileux**

**Tableau 19** : Analyse comparée de la consommation dans un sol Argileux.

		labour	Pseudo-labour	semis	Engrais de fond	Engrais de couverture	pulvérisation	Total
TC Charrue à 3 disques	Temps (h/ha)	3,21	3,34	0,76	0,38	0,32	0,35	8,36
	Carburant (L/ha)	43,23	25,6	7,07	7,82	5,28	5,8	94,8
SD	Temps (h/ha)			0,69		0,26	0,39	1,34
	Carburant (L/ha)			6,72		4,4	5,2	16,32

Le tableau (19), montre clairement le temps et la consommation de carburant nécessaires dans un sol argileux pour la réalisation de chaque opération. Dans notre cas, et concernant la technique classique, nous avons constaté que **le labour avec une charrue à trois disques** est en effet l'opération agricole la plus consommatrice de carburant, il représente **45,6%** de la consommation du carburant totale où le sol est très lord.

On remarque aussi que la reprise de labour dans un sol argileux et sur un labour de mauvaise qualité de surface (retournement incomplet de la bande de terre) nécessite plusieurs passages du cover-crop (**2 à 3**), elle est donc l'opération agricole la plus longue nécessitant **40%** de temps et **27%** de carburant, La réduction des heures d'utilisation est donc le reflet de la réduction de la quantité de passages de travail du sol (**Nagy 1997**).

Concernant le semis direct, on remarque que l'élimination de travail du sol permet de gagner 6h 33min et d'économiser 68,8 L de carburant ; d'autre part, l'utilisation du semoir de semis direct (semoir combiné) permet encore de gagner 27 min de temps et 8,2 L de carburant.

En termes de ces résultats, le SD réduit fortement les temps de chantier et les consommations en carburant.

➤ **Pour les sols argilo-limoneux**

**Tableau 20** : Analyse comparée de la consommation dans un sol Argilo-limoneux.

		labour	Pseudo-labour	semis	Engrais de fond	Engrais de couverture	Pulvérisation	Total
<b>TC</b> Charrue à 3 socs	Temps (h/ha)	3,34	2,72	0,71	0,61	0,46	0,46	8,3
	Carburant (L/ha)	35,44	22,68	6,94	11,73	9,05	9,23	95,07
<b>TC</b> Charrue à 3 disques	Temps (h/ha)	3,29	3,02	0,72	0,28	0,28	0,54	8,13
	Carburant (L/ha)	34,78	24,85	6,98	4,73	4,53	8,3	84,17
<b>SD</b>	Temps (h/ha)			0,25		0,7	0,27	1,22
	Carburant (L/ha)			4,38		6,25	4,93	15,56

D'après le tableau (20), et dans le cas d'un sol argilo-limoneux, le premier constat à faire est que le semis direct représente toujours la technique la plus économique en terme de temps de chantier (moins de **7h 5min** que TC avec une charrue à socs et moins de **6h 55min** que TC avec une charrue à disques) et bien évidemment plus économique que la consommation en carburant (moins de **79,5 L** que TC avec une charrue à socs et moins de **65,6 L** que TC avec une charrue à disques).

Pour le travail classique, la charrue à socs favorise le contrôle des adventices (retournement complet de la bonde de terre) et produit généralement une qualité de labour plus intense et différente de la charrue à disques, mais cette dernière est mieux adaptée aux conditions difficiles (dans notre cas la présence des cailloux). Le tableau ci-dessus montre clairement que la consommation du temps et du carburant sont pratiquement les mêmes pour le labour quel que soit le type de la charrue, où l'effet du choix de la charrue apparaît sur le processus suivant.

Pour la reprise de labour, la différence est remarquable, où les parcelles labourées par la charrue à disque nécessitent plus de temps de chantier et donc consomment plus de carburant par rapport aux parcelles labourées par la charrue à socs, la différence est **18min** de temps et **2,2 L** de carburant.

## **VI. 8. Analyse des rendements céréaliers dans les exploitations agricoles étudiées**

Dans ce qui suit, nous présenteront les rendements moyens des trois céréales étudiées durant les trois campagnes agricoles en fonction des techniques culturales adoptées.

**Tableau 21** : Rendement moyen de blé dur enregistré pour les trois campagnes étudiées en fonction de la technique culturale adoptée.

<b>Blé dur Sur sol argileux</b>		Rdt (qx/ha) TC (charrue à socs)	Rdt (qx/ha) TC (charrue à disque)	Rdt (qx/ha) SD
	2016/2017	16	17	<b>26</b>
	2017/2018	9	13	<b>18</b>
	2018/2019 moyenne	<b>33</b> <b>19</b>	19 <b>16</b>	31 <b>25</b>

**Tableau 22** : Rendement moyen de blé tendre enregistré pour les trois campagnes étudiées en fonction de la technique culturale adoptée.

<b>Blé tendre sur sol argileux</b>		Rdt (qx/ha) TC (charrue à socs)	Rdt (qx/ha) TC (charrue à disque)	Rdt (qx/ha) SD
	2016/2017	<b>35</b>	10	Non mesuré
	2017/2018	9	0	<b>25</b>
	2018/2019 moyenne	<b>35</b> <b>26</b>	30 <b>13</b>	Non mesuré <b>25</b>

**Tableau 23** : Rendement moyen de l'orge enregistré pour les trois campagnes étudiées en fonction de la technique culturale adoptée.

<b>Orge sur sol argileux</b>		Rdt (qx/ha) TC (charrue à socs)	Rdt (qx/ha) TC (charrue à disque)	Rdt (qx/ha) SD
	2016/2017	<b>42</b>	23	13
	2017/2018	5	<b>40</b>	12
	2018/2019 moyenne	<b>30</b> <b>26</b>	25 <b>29</b>	25 <b>17</b>

**Tableau 24** : Rendement moyen du blé dur enregistré pour les trois campagnes étudiées en fonction de la technique culturale adoptée.

<b>Blé dur sur sol argileux limoneux</b>		Rdt (qx/ha) TC (charrue à socs)	Rdt (qx/ha) TC (charrue à disque)	Rdt (qx/ha) SD
	2016/2017	<b>30</b>	8	24
	2017/2018	27	<b>38</b>	14
	2018/2019 moyenne	<b>41</b> <b>33</b>	15 <b>20</b>	12 <b>17</b>

**Tableau 25** : Rendement moyen du blé tendre enregistré pour les trois campagnes étudiées en fonction de la technique culturale adoptée.

<b>Orge sur sol argileux limoneux</b>		Rdt (qx/ha) TC (charrue à socs)	Rdt (qx/ha) TC (charrue à disque)	Rdt (qx/ha) SD
	2016/2017	15	20	<b>34</b>
	2017/2018	25	25	<b>29</b>
	2018/2019 moyenne	<b>36</b> <b>25</b>	10 <b>18</b>	26 <b>30</b>

Le rendement est le paramètre le plus important et déterminant pour comprendre l'influence des facteurs étudiés sur la culture. Les tableaux ci-dessus montrent que le rendement obtenu dans les sols argileux non travaillés est supérieur à celui du travail minimum. Ce constat est valable pour les cultures du blé dur et tendre, alors que pour l'orge le travail du sol avec charrue semble donner les meilleurs rendements. Pour ce qui est des sols argileux limoneux le constat est tout fait contraire, les meilleurs rendements du blé ont été obtenus dans les exploitations travaillées avec la charrue alors que le semis direct semble donner des rendements satisfaisants dans la culture d'orge.

A la lumière de nos résultats, on conclue que le rendement est influencé par plusieurs paramètres, dont le travail de sol. En agriculture pluviale, les pratiques du labour représentent une alternative d'amélioration par la préservation de l'eau dans le sol. La disponibilité de l'eau pour la culture au stade critique dépend de la contenance du sol en eau au moment de sa plantation et il dépend du travail du sol, des résidus de cultures affectant l'efficacité de stockage des précipitations.

## **Conclusion générale**

## Conclusion générale

L'objectif de notre expérimentation repose sur une analyse agronomique des effets de deux techniques culturales, le travail conventionnel et le semis direct sur le comportement du sol et l'impact de ce dernier sur l'enracinement et la production d'un blé dur (variété Siméto), suivi par une légumineuse fourragère, le bersim (variété Tigri), une rotation adoptée par l'institut technique des grandes cultures d'oued-smar depuis l'année 2004.

La première question de recherche concernait l'impact des techniques culturales sur les changements de la structure du sol. Après deux campagnes agricoles d'application des traitements (TC et SD), nos résultats montrent que la structure du sol de chaque modalité semble être modifiée par l'action des pièces travaillantes des outils aratoires. En effet, on a pu conclure que :

- Le semis direct a un effet très important sur l'humidité du sol, ce qui s'explique par la diminution des pertes par l'évaporation due au tassement de la couche superficielle du sol. contrairement au travail conventionnel où l'eau est probablement perdue par l'évaporation.
- La résistance mécanique du sol à la pénétration est diminuée fortement après le passage de la charrue bisocs réversible suivi par le vibroculteur comparativement au semis direct.

La modification de la structure d'un sol affecte la mesure physique dans laquelle un système racinaire de la plante peut se développer, sa capacité à fournir un milieu aéré de manière adéquate pour la croissance, la distribution et le fonctionnement des racines, des aspects importants du développement de la plante.

Cette étude nous a permis d'analyser l'évolution de deux types de système racinaire, fasciculaire dans le cas du blé et pivotant dans le cas du bersim.

Pour le cas du blé dur, l'impact de la technique culturale sur le diamètre et la longueur des racines est meilleur au niveau de la technique conventionnelle par rapport au semis direct, avec une différence de 0,21 mm et de 20 mm respectivement.

Pour le cas du bersim, la technique conventionnelle favorise aussi le bon développement et la croissance des racines avec des diamètres plus grands, avec une densité des racines  $0,58 \times 10^{-4} \text{ g.cm}^{-3}$  plus grande que celle du semis direct, grâce à l'amélioration de la structure du sol qu'elle assure, où le sol est plus poreux sur les parcelles travaillées conventionnellement.

Par contre le nombre des nodules au niveau des micro-parcelles de semis direct est important par rapport au travail conventionnel, avec une différence estimée de  $2,25 \times 10^6$  nodules.ha<sup>-1</sup>.

Concernant les effets du choix des techniques culturales sur le rendement et ses composantes, et dans les conditions de nos essais, le rendement moyen est plus important en semis direct et cela pour les deux cultures. Pour le blé dur, il est estimé à 55,6 qx.ha<sup>-1</sup> pour la D1 et 61,1 qx.ha<sup>-1</sup> pour la D2, alors qu'au niveau des micro-parcelles travaillées conventionnellement le rendement estimé est 59,8 qx.ha<sup>-1</sup> et 64,1 qx.ha<sup>-1</sup> respectivement. Les mêmes résultats ont été obtenus pour le bersim, dont les valeurs sont respectivement 4,3 T/ha de matière sèche pour le semis direct et 3,5 T/ha pour le travail conventionnel. Cela peut être expliqué par la régularité de la profondeur de semis assurée par le semoir de semis direct.

Ce travail repose aussi sur une autre analyse dite énergétique, de la mise en œuvre des techniques culturales classique et simplifiées pour des exploitations agricoles actives en céréaliculture, le but est de comparer entre le temps de chantier nécessaire et le volume du carburant consommé par les deux techniques, classique et moderne (TC et SD), cette comparaison touche toutes les opérations culturales pratiquée (hors récolte) au niveau de 25 exploitations agricoles situées à la wilaya de Sétif.

Cette analyse nous a permis de conclure ce qui suit :

Dans un sol lourd argileux, le système semis direct permet de gagner du temps de travail d'environ 7h 55min par rapport au travail classique. Les opérations culturales qui prennent du temps et consomment plus de carburant sont :

En premier lieu, la reprise de labour par le cover-crop, à cause de la quantité de passages élevée (jusqu'à 3 passages). Pour un seul hectare, ce procédé nécessite environ de 3h 20 min (40% du total). En deuxième lieu, le labour profond avec une charrue à trois disques, où cette opération nécessite en moyenne 3h 13min (38% du total).

Par contre, en termes de carburant, le labour profond consomme 43 L (46% du total) alors que sa reprise consomme environ de 26 L (27% du total).

Le même résultat a été enregistré dans un sol argileux limoneux, où le semis direct a permis de gagner 6h 55min à 7h 46min par rapport au travail classique. Le labour profond par la charrue représente l'opération la plus consommatrice en termes de temps et carburant, ce procédé nécessite 3h 20min (40% du total) et consomme environ de 35,5 L (42% du total) dans le cas de la charrue à trois socs, et environ de 3h 17min (40% du total) et 34,8 L (43% du total) dans le cas d'une charrue à trois disques.

Ces valeurs de consommation quantifiées montrent clairement que le temps de travail et le nombre de passages diminués en contexte de SD se reflètent dans la consommation en carburant totale réduite de 83,3% par rapport au contexte labour sur un sol argileux et de 80,8% à 81,4% sur un sol argileux limoneux. Ce qui nous permis de dire que le système semis direct est plus avantageux en termes d'économie de temps et de carburant.

En fin, une enquête a été réalisée auprès de tous les agriculteurs qui ont adoptés le semis direct à Sétif, et il en résulte de cette enquête que le semis direct présent pas mal de limite, notamment le problème de pâturage aléatoire, qui cause un appauvrissement du sol en couvert végétal mais aussi un tassement excessif en surface causé par le bétail.

Aussi, l'adoption du semis direct nécessite un désherbage chimique efficace chaque année, ou l'élimination des adventices avant, après, et pendant la culture est faite avec les herbicides, des substances chimiques relativement dangereuses pour la santé humaine et celle des écosystèmes. Il faudra donc choisir entre le gain de temps et d'argent et la santé humaine.

## **Perspectives**

Pour l'avenir, nous recommandant d'axer les travaux scientifiques sur d'autres paramètres tels que la distribution pondérale des agrégats, qui constitue le meilleur moyen pour apprécier et caractériser l'action de l'outil sur la structure du sol, en donnant plus de détails sur la grosseur des mottes formées après le passage de l'outil ainsi que leur proportion par rapport au volume de terre remué.

En semis direct, la lutte chimique est la seule méthode utilisée par les agriculteurs algériens actuellement, pour éliminer les adventices. Il est de plus en plus difficile pour eux de contrôler ces adventices. En effet, le stock semencier de surface engendre une maîtrise difficile des adventices pendant au moins deux à trois campagnes. Par ailleurs, l'apparition d'adventices résistantes aux herbicides rend de plus en plus difficile leur contrôle.

Une imminente interdiction du glyphosate en Algérie mettrait les agriculteurs adeptes du semis direct de Sétif dans l'embarras, ces derniers n'ayant rien connu d'autre que ce système à base de glyphosate. Par conséquent, les plans d'urgence ne devraient pas se concentrer uniquement sur un scénario de culture sans glyphosate, mais de manière plus générale sur l'agriculture avec une disponibilité d'herbicides limitée. Pour atteindre cet objectif, il faudra des solutions alternatives viables pour gérer les adventices de manière efficace et rentable, à la fois à court et à long terme.

En conclusion, nous recommandons qu'il soit intéressant de compléter cette étude par d'autre analyse économique pour avoir une idée précise sur la rentabilité de chaque technique culturale.

## **Références bibliographiques**

- **Abdelguerfi A., Laouar M., Bouzina M., 2008.** « Les productions fourragères et pastorales en Algérie : situation et possibilités d'amélioration », Revue Semestrielle 'Agriculture & développement' (INVA, Alger), Janvier 2008, n°6 : 14-25.
- **AFOCG, 2011.** Gaz à effet de serre et consommations d'énergie en agriculture. [http://www.afocg.fr/wpcontent/uploads/2016/07/Afocg\\_11\\_Gaz\\_a\\_effet\\_de\\_serre\\_et\\_consommation\\_d\\_energie\\_en\\_agriculture.pdf](http://www.afocg.fr/wpcontent/uploads/2016/07/Afocg_11_Gaz_a_effet_de_serre_et_consommation_d_energie_en_agriculture.pdf)
- **Agu S., 2000,** Agriculture et effet de serre : adaptation des pratiques agricoles alternatives énergétiques, rapport de DA environnement, Ecole Supérieure d'Agriculture d'Angers, décembre.
- **Almaric N., M. Brezillon, C R E. Faiq, M. Schroeder, A.Tite. 2008** :« La vulgarisation de l'agro-écologie : de la théorie au terrain ». Octobre 2008 Projet INP-ENSAT/Solagro. PP 1-4.
- **Alam, M. K., Salahin, N., Islam, S., Begum, R. A., Hasanuzzaman, M., Islam, M. S. and Rahman, M., 2017.** Patterns of change in soil organic matter, physical properties and crop productivity under tillage practices and cropping systems in Bangladesh. J. Agric. Sci. 155: 216-38.
- **Amar M, 1994.** Evaluation de la consommation de carburant d'un tracteur agricole. (Mémoire d'Ingénieur). Institut National Agronomique, El Harrach-Alger-Algérie.
- **Amara M, 2007.** Contribution à la modélisation interface outils aratoires-sol Optimisation de la forme et de l'effort de résistance à la traction des corps de charrue à socs et des outils à dents, Edilivre. Ed, Universitaire. Eilivre, Paris.
- **Amara M., Boudhar L., Adli N., Feddal M.A., 2008.** "Evolution de la résistance pénétrométrique du sol en relation avec l'humidité et la porosité, sous l'action des pièces travaillantes d'une chaîne classique de préparation du sol ». Vol. 2, n° 1 et 2 — Janvier-décembre 2008, Science et technique, Sciences appliquées et Technologies. Burkina Faso.
- **Amara M., Feddal MA., Hamani A., 2015.** Analyse du comportement du sol sous l'action de trois techniques de la mise en place d'un blé dur (*Triticum durum*). Effet sur le développement des racines et conséquences sur le rendement. Revue Nature et Technology, B. Sciences Agronomiques et Biologiques, n°12/Janvier 2015, 130-141.
- **Amara, M. ; Mohand Ouali, K. ; Fatiha, H., 2006.** Effet de succession des machines agricoles pour la mise en place d'un blé sous pivot sur le développement des racines et conséquence sur le rendement. Rev. Terre et Vie, juillet 2006-.14p.
- **Andrade D.S., Colozzi-Filho A., Giller K.E., 2003.** The soil microbial community and soil tillage. In: A. El Titi (Ed.), Soil Tillage in Agroecosystems, CRC Press LLC Boca Raton, p. 51-81.

- **Aon M.A., Sarena D.E., Burgos J.L., Cortassa S., 2001** - (Micro) biological, chemical and physical properties of soils subjected to conventional or no-till management: an assessment of their quality status. *Soil & Tillage Research*, 60, pp. 173-186.
- **Asari, M. J., Gharineh, M. H., Zaiyan, A. H. and Asoudar, M. A., 2017**. Effects of water stress on wheat nitrogen use under minimum and conventional tillage systems. *Crop Res.* 52: 209-17.
- **Baldy C., 1974**. Contribution à l'étude fréquentielle des conditions climatiques : leur influence sur la production des principales zones céréalières d'Algérie. MARA, projet céréales, Alger. 152p.
- **Baldy C., 1992**. Indicateurs de la contrainte hydrique. *Sécheresse* 6 : 175- 177.
- **Balesdent, J., Chenu, C. et Balabane, M., 2000**. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil and Tillage Research* 53 :215-230.
- **Belagrouz Abdenour, 2013**. Analyse du comportement du Blé tendre, variété El WIFAK (*Triticum aestivum L.*) Conduite en labour conventionnel, travail minimum et semis direct sur les Hautes Sétifiennes. Thèse de Magister. Université Farhat Abbas Sétif.
- **Balpande, S. S., Ghodpage, R. M., Mhashe, A. R., Badole, W. P. and Deotale, S. L., 2020**. Soil quality of various cropping systems in Rahat micro watershed of Vidarbha. *J. Soil Crops* 30 : 185-90.
- **Barthelemy P., Boisgontier D., 1990**, Point technico-économique sur le travail superficiel, *Perspectives Agricoles*, n°147, mai, p79-84.
- **Barthelemy P., 1992**. Travail du sol, choisir les outils de travail du sol. Ed. ITCF.
- **Belaib Issem, 2012**. Caractérisation morphologique des troupeaux ovins dans la région de Sétif, Université Ferhat Abbas – Sétif, Algérie, 103p.
- **Benmahammed Amar, 2005**. Hétérosis, transgressions et efficacité de la sélection précoce et de retardée de la biomasse du nombre d'épis et utilisation des indices chez orge (*Hordeum vulgare L.*) Thèse Doctorat. Université des frères Mentouri Constantine1. 125p.
- **Ben-Salem H., L. Zaibet, et M. Ben-Hammouda, 2006**. Perspectives de l'adoption du semis direct en Tunisie. Une approche économique. *Options Méditerranéennes, Série A, Numéro* 69.pp 69-75.
- **Bentahar, D., Amara, M. and Feddal M. A., 2019**. Impacts upon cultural techniques on root system development and consequences on durum yields. Proposal of mathematical models for yield assessment. *Algerian J. Env. Sc. Technol.* 6: 1638-646.

- **Berner, A., Hildermann, I., Fließbach, A., Pfiffner, L., Niggli, U., et Mäder, P., 2008.** Crop yield and soil fertility response to reduced tillage under organic management. *Soil Tillage Res.* 101: 89-96.
- **Birkas, M., Jolankai, M., Gyuricza, C., Percze, A., 2004.** Tillage effects on compaction, earthworms and other soil quality indicators in Hungary. *Soil Tillage Res.* 78, 185–196.
- **Blanco Canqui, H., Wienhold, B. J., Jin, V. L., Schmer, M. R. and Kibet, L. C., 2017.** Long term tillage impact on soil hydraulic properties. *Soil Till. Res.* 170: 38-42.
- **Boame, A., 2005.** Zero Tillage: “A greener way for Canadian farmers”. Statistics Canada. Catalogue No. 21-004-XIE.
- **Bohlen P.J., Edwards W.M., Edwards C.A, 1995.** Earthworm community structure and diversity in experimental agricultural watersheds in Northeastern Ohio. The significance and regulation of soil biodiversity. *Plant and Soil* 170, 233-239.
- **Bonjean A, Picard E., 1990.** Les céréales à paille : origine, histoire, économie, sélection. Ed. INRA. Paris. France. 300p.
- **Bounejmate M., 1997.** « Bersim (*Trifolium Alexandrinum L.*). Production et utilisation des cultures fourragères au MAROC ». INRA, 140-147.
- **Bouthier A., Pelosi C., Villenave C., Peres G., Hedde M., Ranjard L., Vian J. F., Peigne J., Cortet J., Bispo A., Piron D., 2015.** Impact du travail du sol sur son fonctionnement biologique. 90 p.
- **Brenna, J., Hackett, R., McCabe, T., Grant, J., Fortune, R.A., Forristal, P.D., 2014.** The effect of tillage system and residue management on grain yield and nitrogen use efficiency in winter wheat in a cool Atlantic climate. *Eur. J. Agron.* 54, 61–69.
- **Camara, K. M., Payne, W. A. and Rasmussen, P. E., 2003.** Long-term effects of tillage, nitrogen, and rainfall on winter wheat yields in the Pacific Northwest. *Agron. J.* 95 : 828835.
- **Caneill J, Bodet JM., 1991,** Simplification du travail du sol et rendement ds cultures. Conséquences sur les systèmes de cultures, *Perspectives Agricoles*, n°161, septembre, p 54-62.
- **Carof, M., 2006.** Fonctionnement de peuplements en semis direct associant du blé tendre d.hiver (*Triticum aestivum L.*) à différentes plantes de couverture en climat tempéré. Thèse de doctorat. INA PG. 132.
- **Castellini, M., Stellaccin, A. M., Tomaiuolo, M. and Barca, E., 2019.** Spatial variability of soil physical and hydraulic properties in a durum wheat field: An Assessment by the BEST-Procedure. *Water* 11: doi: 10.3390/ w11071434.
- **CHARVET Jean-Paul,** « CÉRÉALES », *Encyclopædia Universalis France* [en ligne], consulté le 29 septembre 2020. URL : <https://www.universalis.fr/encyclopedie/cereales/>

- **Chehat F, 2007.** Analyse macroéconomique des filières, la filière blés en Algérie. Projet PAMLIM « Perspectives agricoles et agroalimentaires Maghrébines Libéralisation et Mondialisation » Alger : 7-9 avril 2007.
- **Chirantan Banerjee, Lucie Adenaueer, 2014.** Up, Up and Away! The Economics of Vertical Farming. *Journal of Agricultural Studies*: 40-60.
- **Choudhury, S.G., Srivastava, S., Singh, R., Chaudhari, S.K., Sharma, D.K., Singh, S.K., 2014.** Tillage and residue management effects on soil aggregation, organic carbon dynamics and yield attribute in rice-wheat cropping system under reclaimed sodic soil. *Soil Tillage Res.* 136, 76–83.
- **CNEEMA, 1979.** Les façons du travail du sol (Etude No. 455). CNEEMA.
- **Demissy et Farque, 1997.** Agriculture durable et conservation des sols : Enjeux et perspective en Europe. 23p.
- **Derpsch R. and Friedrich T., 2008.** Global Overview of Conservation Agriculture Adoption. FAO Doc.
- **De Vita, P., Di Paolo, E., Fecondo, G., Di Fonzo, N. et Pisante, M., 2007.** No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. *Soil Tillage Res.* 92: 69-78.
- **Dill-Macky, R. and Jones, R. K., 2000.** The effect of previous crop residues and tillage on fusarium head blight of wheat. *Plant Dis.* 84: 71-76.
- **Duchauffour, P. H. (1997).** Abrégé de pédologie sol, végétation environnement. Masson, Paris. Pp. 921.
- **DSASI (2015),** Direction des Statistiques Agricoles et des Systèmes d'Information, série B, année 2015. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural d'Algérie.
- **Encyclopædia Universalis France, 2020.** [en ligne], consulté le 29 septembre 2020. URL : <https://www.universalis.fr/media/V05N0021/>
- **FAO, 2001,** Environmental Department Website : <http://www.fao.org/ag/magazine/0110sp.htm>
- **FAO, 2008.** Conservation Agriculture. 2008-07-08. <http://www.fao.org/ag/ca/index.html>
- **FAO, 2018.** Organisation des nations unies pour l'alimentation et agriculture. Perspectives de l'alimentation, Les marchés en bref. 2p.
- **FAOSTAT : L'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, 2018.**

- **Feddal, 2015.** Problématique de l'introduction des techniques culturales simplifiées pour la mise en place des grandes cultures en Algérie, Ecole supérieure nationale El-Harrach Alger, Algérie, 296 p.
- **Feillet P., 2000.** Le grain de blé composition et utilisation. Ed. INRA, Paris, 308p.
- **Feliachi k., 2000 :** Programme de développement de la céréaliculture en Algérie. In actes du premier symposium International sur la filière blé : Blé 2, 2000. Enjeux et stratégies Alger 7 au 9 Février 2000. Ed. OAIC, 21-28.
- **Fellahi, Z. A., Hannachi, A., Chennafi, H., Makhlouf, M. and Bouzerzour, H., 2010.** Effet des résidus et du travail du sol sur la cinétique de l'accumulation de la biomasse, le rendement et l'utilisation de l'eau du blé dur (*Triticum durum Desf.*) variété MBB sous conditions climatiques des hautes plaines Sétifiennes. Soumis Sciences et Technologie Université Chlef.
- **Feng, G.L., Sharratt, B., Young, F., 2011.** Soil properties governing soil erosion affected by cropping systems in the U.S. Pacific Northwest. *Soil Tillage Res.* 111, 168–174.
- **Franchini, J.C., Debiasi, H., Balbinot, J.A.A., Tonon, B.C., Farias, J.R.B., Oliveira, M.C.N., 2012.** Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil. *Field Crops Res.* 137, 178–185.
- **Frederic T., 2006.** Technique culturales simplifiées ; N°36. Janvier/février 2006.
- **Gao, H.W., Li, W.Y., Li, H.W., 2003.** Conservation tillage technology with Chinese characteristics. *Trans. CSAE* 19, 1–4.
- **Gao W, Zhou T, Ren T, 2015.** Conversion from Conventional to No Tillage Alters Thermal Stability of Organic Matter in Soil Aggregates. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 79, 585. doi : 10.2136/sssaj2014.08.0334.
- **Gilet A., 2001,** Le non labour impose de creuser la technique, *La France Agricole*, n°2889, juin, p 47-51.
- **Giller, K.E., Witter, E., Corbeels, M., Tittonell, P., 2009.** Conservation agriculture and smallholder farming in Africa: the heretics' view. *Field Crops Res.* 114, 23–34.
- **Godfray, H.C.J.; Beddington, J.R.; Crute, I.R.; Haddad, L.; Lawrence, D.; Muir, J.F.; Pretty, J.; Robinson, S.; Thomas, S.M.; Toulmin, C.** Food security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science* 2010, 327, 812–818.
- **Grigera, M.S., Drijber, R.A., et B.J. Wienhold., 2007.** Redistribution of crop residues during row cultivation creates a biologically enhanced environment for soil microorganisms. *Soil and Tillage Research* 94:550-554.
- **Guedez PY., 2002,** Environmental aspects of conservation agriculture in Europe, Rapport de stage en vue de l'obtention du diplôme d'études spécialisées en Sciences et Gestion de

l'Environnement sous la direction de M.A. Reding (Monsanto) et A. Peeters (UCL), Université Catholique de Louvain, 97 pp.

- **Halvorson, A. D., Black, A. L., Krupinsky, J. M et Merrill, S. D., 1999.** Dryland winter wheat response to tillage and nitrogen within an annual cropping system. *Agron. J.* 91 : 702707.
- **Hamadache A., 2003.** « Les ressources fourragères actuelles en Algérie : situation et possibilité d'amélioration ». Acte de l'atelier national sur la stratégie de développement des cultures fourragères en Algérie. ITGC. P.P. 18-19.
- **Hamadache A., 2013.** *Eléments de phytotechnie : Grandes cultures, Tome1 : Blé.* Premier édition. Algérie, pp54, 59.
- **Hammel, J. E., 1995.** Long-term tillage and crop rotation effects on winter wheat production in Northern Idaho. *Agron. J.* 87: 16-22.
- **Hawkesford, M.J.; Araus, J.L.; Park, R.; Calderini, D.; Miralles, D.; Shen, T.; Zhang, J.; Parry, M.A.,** Prospects of doubling global wheat yields. *Food Energy Secur.* 2013, 2, 34–48.
- **He, J., Li, H.W., Gao, H.W., 2006.** Subsoiling effect and economic benefit under conservation tillage mode in Northern China. *Trans. CSAE* 22, 62–67.
- **Hill G.T., Mitkowski N.A., Aldrich-Wolfe L., Emele L.R., Jurkonie D.D., Ficke A., Maldonado-Ramirez S., Lynch S.T., Nelson E.B., 2000** - Methods for assessing the composition and diversity of soil microbial communities. *Applied Soil Ecology*, 15, pp. 25-36.
- **Hou, X.Q., Li, R., Jia, Z.K., Han, Q.F., 2013.** Effect of rational tillage on soil aggregates, organic carbon and nitrogen in the Loess Plateau Area of China. *Pedosphere* 23 (4), 542–548.
- **Hou, X.Q., Li, R., Jia, Z.K., Han, Q.F., Wang, W., Yang, B.P., 2012.** Effects of rotational tillage practices on soil properties, winter wheat yields and water-use efficiency in semi-arid areas of north-west China. *Field Crops Res.* 129, 7–13.
- **ITGC., 1999.** Analyse des contraintes liées à la céréaliculture. Programme de développement de la filière céréale, 8-10.
- **ITGC., 2010.** Cultures et couts de production des grandes cultures. Revue n°54. Alger. 96 p.
- **ITGC., 2019.** « Le bersim où trèfle d'Alexandrie (*Trifolium alexandrinum*) ». Fiche technique. 2p. Consultable sur : [http://www.itgc.dz/wpcontent/uploads/2019/12/bersime\\_compressed.pdf](http://www.itgc.dz/wpcontent/uploads/2019/12/bersime_compressed.pdf)
- **Jacques Diouf, 2004.** Le développement agricole, un atout pour l'Afrique, Le monde diplomatique. 17p. Consultable sur : <https://www.monde-diplomatique.fr/2004/12/DIOUF/11722>
- **Jérôme Labreuche, Afsaneh Lellahi, Chloé Malaval, Jean-Claude Germon, 2011.** Impact des techniques culturales sans labour (TCSL) sur le bilan énergétique et le bilan des gaz à effet de serre des systèmes de culture, *cah Agric*, vol. 20, n°3, doi : 10.1684/agr.2011.0492, p209.

- **Kay B.D., Vanden Bygaart A.J., 2002.** Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil and Tillage Research* 66, 107-118.
- **Kern, J. S. and Johnson, M.G., 1993.** Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57: 200-210.
- **KÖLLER K., 2003:** Techniques of Soil Tillage, In A. El Titi, ed. *Soil Tillage in Agroecosystems*. CRC Press LLC, Boca Raton, p. 1-25.
- **Labad Ryma, 2018.** Effets environnementaux du désherbage chimique associé au semis direct : pratiques agricoles et impacts sur les sols des hautes plaines sétifiennes, Ecole supérieure nationale El-Harrach Alger, Algérie, 21p.
- **Labreuche J., Le Souder C., Castillon P., Ouvry J.F., Real B., Germon J.C. Et De Tourdonnet S. (coordinateurs), 2007.** « Evaluation des impacts environnementaux des Techniques Culturelles Sans Labour en France ». ADEME-ARVALIS. Institut du végétal-INRA-APCA-AREAS-ITBCETIOMIFVV. 400 p.
- **Labreuche, J., Viloingt, T., Caboutet, D., Daouze, J.P., duval, R., ganteil, A., jouy, L., quere, L., Boizard, H. et j. Rouger-Estrade, 2007.** evaluation des impacts environnementaux des techniques culturales sans labour (TCSL) en France. Parite1 : la pratique des TCSL en France.
- **Lahlou S., Ouadia M., Malam Issa O., Le Bissonais Y. et Mrabet R., 2005.** Modification de la porosité du sol sous les techniques culturales de conservation en zone semi-aride marocaine. Dans : *Etude et gestion des sols*, 12, pp. 69-76.
- **Lareau, M.J., 1990.** La culture du blé au Québec. Publication d'Agriculture Canada, Bull technique n° 14. 27 p.
- **Larney, F. J et Lindwall, C. W., 1994.** Winter wheat performance in various cropping systems in southern Alberta. *Can. J. Plant Sci.* 74: 79-86.
- **Laverdière, M. R., 2005.** Conservation des sols et du milieu. Département des sols et de génie agroalimentaire, Université Laval. Sainte-Foy, Qc. 369 p.
- **LERIN François, 1986.** Céréales et produits céréaliers en méditerranéen. Ed. Mont pellier ; pp 81 ; 93.
- **Li, H., Gao, H., Wu, H., Li, W., Wang, X. et He, J., 2007.** Effects of 15 years of conservation tillage on soil structure and productivity of wheat cultivation in northern China. *Aust. J. Soil Res.* 45: 344-350.
- **Lopez, M. V., Arrue, J. L. and Sanchez-Giron, V., 1996.** A comparison between seasonal changes in soil water storage and penetration resistance under conventional and conservation tillage systems in Aragon. *Soil Till. Res.* 37: 251-71.

- **Lyon, D. J., Boa, F. and Arkebauer, T. J., 1996.** Water-yield relations of several springplanted dryland crops following winter wheat. *J. Prod. Agric.* 8 : 281-71.
- **MADR, 2007a.** Statistiques agricoles, série A, année 2007. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural d'Algérie.
- **MADR, 2007b.** Statistiques agricoles, série B, année 2007. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural d'Algérie.
- **MADR, 2015.** Statistiques agricoles, série B, année 2015. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural d'Algérie.
- **MADR, 2018.** Statistiques agricoles, année 2018. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural d'Algérie.
- **MADR, 2020.** Statistiques agricoles, année 2020. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural d'Algérie.
- **Manichon H., Roger-Estrade J., 1990** - Caractérisation de l'état structural et étude de son évolution à court et moyen terme sous l'action des systèmes de culture, pp. 27-55, In L. Combe and D. Picard, eds. *Les systèmes de culture*. INRA, Paris.
- **Maryam Bayat, Elena Pakina, Tamara Astarkhanova, Abdul Nasir Sediqi, Meisam Zargar and Valentin Vvedenskiy, 2019.** Review on agro-nanotechnology for ameliorating strawberry cultivation. *Res. On Crops* 20: 731-34.
- **McGill W.B., 2007** - The Physiology and Biochemistry of Soil Organisms, pp. 231-256, In E. A. Paul, ed. *Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry*, Academic press ed.
- **Mebarki, M. N., Feddal, M. A., Feddal-Taibi, S., Labad, R. and Mohammedi, Z., 2020.** Analysis of the combined effect of direct seeding with seeding depth on the behaviour of a durum wheat. *J. Soils Crops* 30: 1-13.
- **Menad et al., 2009.** Rythme de développement, utilisation d l'eau et rendement de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) dans l'étage bioclimatique semi-aride. Thèse de Magister : 12p.
- **Minette S., 2009.** « Caractéristiques des principales cultures intermédiaires ».25p. Consultable sur : [https://agriculture-deconservation.com/sites/agriculture-deconservation.com/IMG/pdf/RPC\\_cultures\\_intermediaires.pdf](https://agriculture-deconservation.com/sites/agriculture-deconservation.com/IMG/pdf/RPC_cultures_intermediaires.pdf)
- **Moris M., Belaid A. & Byerlee D., 1991.** Wheat and barley production in rainfed marginal environment of the developing world. In *CMMYT world wheat facts and trends*, 1- 26.
- **Mouffok Cheref eddine, 2007.** Diversité des systèmes d'élevage bovin laitier et performances animales en région semi-aride de Sétif, Ecole supérieure nationale El-Harrach Alger, Algérie, 14p.

- **Munoz-Romeo, V., López-Bellido, L. and López-Bellido, R. J., 2015.** Effect of tillage system on soil temperature in a rainfed Mediterranean Vertisol. *Int. Agrophys.* 29: 467-73.
- **Nagy, C. N., 1997.** An Economic Assessment of Alternative Cropping Systems for the Saskatchewan Parklands, Unpublished Master's Thesis, University of Saskatchewan. 116 Pp.
- **Naveen Kumar, B. T. and Babalad, H. B., 2017.** Conservation agriculture to sustain the productivity and soil health in cotton and groundnut intercropping system. *J. Soils Crops* 27 : 24-33.
- **ONM, 2021.** Office National de la Météorologie, Les précipitations enregistrées au niveau de la wilaya de Sétif.
- **Pal, D., Patra, P. K. and Mukhopadhyay, D., 2018.** Effect of tillage and organic residues on yield of wheat (*Triticum aestivum L.*). 19 : 373-79.
- **Parlawar, N. D., Jiotode, D. J., Kubde, K. J., Ajay Kumar Meena and Mohod, A. R., 2017.** Effect of tillage on growth, yield and yield components in soybean. *J. Soils Crops* 27 : 192-98.
- **Passion céréales, 2020.** [en ligne], consulté le 30 juillet 2020. URL : <https://www.passioncereales.fr/dossier-thematique/les-c%C3%A9r%C3%A9ales-en-chiffres>
- **Pekrun, C., Kaul, H.P., et W. Claupein, 2003.** Soil tillage for sustainable nutrient management, p. 83-113, In A. El Titi, ed. *Soil Tillage in Agroecosystems*. CRC Press LLC, Boca Raton.
- **Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R. et Blair, R., 1995.** Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*. 267: 1117-1123.
- **Rastoin.J.L, GHERSLG, 2009.** « Le système alimentaire mondial : concepts et méthodes, analyses et dynamiques » Quae, Paris.
- **Ray, D.K.; Mueller, N.D.; West, P.C.; Foley, J.A.** Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. *PLoS ONE* 2013, 8, e66428.
- **Reicosky D.C., 2001,** Conservation agriculture: global environmental benefits of soil carbon management, I world congress on conservation agriculture - volume 1: keynotes contributions, pp3-12.
- **Reinhard H., Chervet A, Sturny WG., 2001,** Semis direct en grandes cultures : rendement des cultures, *Revue suisse d'agriculture*, vol 33, n°1, janvier février, p7-13.
- **R. L. Raper, D. W. Reeves, C. H. Burmesster, E. B. Schwab, 2000.** TILLAGE DEPTH, TILLAGE TIMING, AND COVER CROP EFFECTS ON COTTON YIELD, SOIL STRENGTH, AND TILLAGE ENERGY REQUIREMENTS. *Appl. Eng. Ageic.* 16, 379-385. doi : 10.13031/2013.5363.

- **Relyea, R., 2005.** The impact of insecticides and herbicides on the biodiversity and productivity of aquatic communities.
- **Rieu C., 2001.** Les enjeux économiques de la simplification du travail du sol, du labour au semis direct : enjeux Agronomiques, Conférence-débat INRA –ITCF, Salon International du Machinisme Agricole, février, p 21-22, pp 22.
- **Robert M., 2001,** Environmental and economical evaluation for agricultural practices: carbon sequestration in soils and beneficial effects for environment and development, I world congress on conservation agriculture - volume II: Offered contributions, pp201-204.
- **Roger-Estrade J., Richard G., Caneill J., Boizard H., Coquet Y., Defossez P., 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 Research, 79, pp. 33-49.
- **Sabert, N., Mrabet, R., 2002.** Influence du travail du sol et des rotations de cultures sur la qualité d'un sol argileux gonflant en milieu semi-aride marocain. Revue Étude et Gestion des Sols, Volume 9, 1, 2002, pages 43 à 53.
- **Sans, F. X., Berner, A., Armengot, L. and Mäder, P., 2011.** Tillage effects on weed communities in an organic winter wheat-sunflower-spelt cropping sequence. Weed Res. 51: 413-421.
- **Seguy, L. ; Bouzinac, S. et Maronezzi, A.C., 2001.** Systèmes de culture et dynamique de la matière organique. Un dossier du semis direct. CIRAD-CA, Agronorte Pesquisas-Groupe MAEDA, TAF/FOFIFA/ANAE. 320 p.  
<http://agroecologie.cirad.fr/content/download/7131/34698/file/1172915043.pdf>
- **Seguy L, Husson O, Charpentier H, Bouzinac S, Michellon R, Chabanne A, Boulakia S, Tivet F, Naudin K, Enjalric F, Ramaroson I, rakotondramanana, 2009.** Principes et fonctionnement des écosystèmes cultivés en semis direct sur couverture végétale permanente. Manuel pratique du semis direct à Madagascar. Volume I. Chapitre 1.p 11.
- **Seysen S., 2001,** L'effet de serre agricole, Cultivar l'actualité, N°517, p18.
- **Shi, Y., Yu, Z.W., Man, J.G., Ma, S.Y., Gao, Z.Q., Zhang, Y.L., 2016.** Tillage practices affect dry matter accumulation and grain yield in winter wheat in the North China Plain. Soil Tillage Res. 160, 73–81.
- **Shrestha, J., Subedi, S., Timsina, K. P., Chaudhary, A., Kandel, M. and Tripath, S., 2020.** Conservation agriculture as an approach towards sustainable crop production: A review. Farm. Manage. 5: 715.

- **Shrestha, K. P., Giri, R., Kafle, S., Chaudhari, R. and Shrestha, J., 2018.** Zero tillage impacts on economics of wheat production in far western Nepal. *Farm. Manage.* 3 : 93-99.
- **Soltner, D., 2003.** Les bases de la production végétale (tomes I et II). Edition sciences et techniques agricoles, Sainte-Gemme-sur-Loire, France.
- **Sosnoskie, L. M., Herms, C. P. et Cardina, J., 2006.** Weed seedbank community composition in a 35-yr-old tillage and rotation experiment. *Weed Sci.* 54: 263-273.
- **Stewart, B. A., 2007.** Water conservation and water use efficiency in dry lands. In: Stewart, B., Fares Asfary, A., Belloum, A., Steiner, K., Friedrich, T. (Eds.), proceedings of the International Workshop on Conservation Agriculture for Sustainable Land Management to Improve the Livelihood of People in Dry Areas, 7-9 May 2007. ACSAD and GTZ, Damascus, Syria. Pp. 57-66.
- **Tebrügge F., BÖHRNSEN, 1997,** Crop yields and economic aspects of no tillage compared to plough tillage: results of long term soil tillage field experiments in Germany,p 25-45.
- **Thibault, E., 2000.** Les outils de travail primaires : leur impact sur le sol in colloque en agroenvironnement ; Des outils d'intervention à notre échelle .Bull.N°12 : 43-51.
- **V'aclav, S., Radek, V., Jana, C., Helena, K., Pavel, R., 2013.** Winter wheat yield and quality related to tillage practice: input level and environmental conditions. *Soil Till. Res.* 132, 77–85.
- **Vanasse, A. 2012.** Les céréales à paille. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ), Québec. 148 p.
- **Vian, 2009b.** Comparaison de différentes techniques de travail du sol en agriculture biologique : effet de la structure et de la localisation des résidus sur les microorganismes du sol et leurs activités de minéralisation du carbone et de l'azote. PhD thesis, ISARA-Lyon, AgroParisTech, 171p.
- **Vian J. F., Peigné J., Chaussod R., Roger-Estrade J., 2009a.** Effets du mode de travail du sol sur les microorganismes à l'échelle du profil cultural, *Etude et gestion des sols.* 363 p.
- **Viaux P., 1999,** Une 3ème voie en Grande Culture : Environnement, Qualité, Rentabilité, Editions Agridécisions, 211p.
- **Villax E.J., 1963.** « La culture des plantes fourragères dans la région méditerranéenne ». INRA, RABAT (MAROC), 407-641.
- **Xanxo L., A. Solans, C. Cantero-Martínez, 2006.** Système de production de cultures fourragères en semis direct dans la zone de la Seu d'Urgell, à Lleida, en Espagne. *Options Méditerranéennes, Série A, Numéro 69.* pp27-36.
- **Yachi A., Amara M., Belkacemi A., 2019.** Effets des techniques culturales sur les paramètres sol et plante, Editions universitaires européennes. 44 p.

- **Young, I.M., et K. Ritz, 2000.** Tillage, habitat space and function of soil microbes. *Soil and Tillage Research* 53:201-213.
- **Zhang, H.Y., Liu, J.H., Zhao, B.P., Wang, L.W., Hao, H., Li, M., 2016.** Effects of conservation tillage on soil physical properties and corn yield in sandy soil. *Agri. Res. Arid Areas*. 34 (3), 108–114.
- **Zhang, Y.J., Wang, R., Wang, S.L., Wang, H., Xu, Z.G., Jia, G.C., Wang, X.L., Li, J., 2017.** Effects of different sub-soiling frequencies incorporated into no-tillage systems on soil properties and crop yield in dryland wheat-maize rotation system. *Field Crops Res.* 209, 151–158.
- **Zhang, Y.J., Wang, S.L., Wang, H., Ning, F., Zhang, Y.H., Dong, Z.Y., Wen, P.F., Wang, R., Wang, X.L., Li, J., 2018.** The effects of rotating conservation tillage with conventional tillage on soil properties and grain yields in winter wheat- spring maize rotations. *Agric. For. Meteorol.* 263, 107–117.
- **Zekkour, M., 2007.** Effet de la fertilisation phosphatée sur le comportement et la population d'une culture de blé dur (*Triticum durum* Var. Dimeto) conduite en conditions sahariennes dans la région d'El Goléa. Thèse. Ing, Agro, Agro, ANFS/AS (Ouargla), partie expérimentale. pp. 103.

# **Les annexes**

## **Reflection of the development of cultivation techniques on the growth and development of durum wheat (*Triticum durum*) in Algeria**

ABDELOUAHID YACHI<sup>1,\*</sup>, MOHAMED AMINE FEDDAL<sup>1</sup>, MAHFOUD AMARA<sup>1</sup>, BAH  
EDDINE BADOUNA<sup>2</sup>, DJAMILA BENTAHAR<sup>3</sup>, MOHAMMED NADHIR MEBARKI<sup>1</sup>,  
SMAN ECHCHERKI<sup>1</sup>, HANA ANFAL BENSABTI<sup>1</sup> AND MOHAMED  
NADJIB ZIBANI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratory for the Control of Water in Agriculture  
Department of Agricultural Engineering  
National Higher School of Agronomy (ENSA), ES1603, El Harrach, Algeria  
<sup>\*</sup>(e-mail : wahidosse@gmail.com)

(Received : December 31, 2020/Accepted : March 17, 2021)

### **ABSTRACT**

Soil management systems can affect soil physical properties and, thus, have a direct bearing on crop performance. This study determined the effects of conventional and no-tillage management on selected soil physical properties and compared observed yield differences between these tillage systems with soil physical properties. To achieve these goals, two technical tillage chains (deep tillage, Direct sowing), were compared in the same pedoclimatic and historical situations. The experiment was carried out on clayey soil in the experimental station of the Technical Institute for Field Crops, during 2017-18 agricultural campaign. Tillage methods significantly affected the soil physical properties as increase in soil moisture contents and decrease in Penetration resistance of soil was noted. The soil moisture contents (21,25 %) and Penetration resistance (2,44 MPa) were maximum in direct sowing as compared to conventional tillage. Whatever the sowing rate, the number of seedlings raised per square meter is greater on direct sowing plots. Concerning the diameter and the length of the roots, and whatever the sowing dose, the large values were recorded in the plots worked conventionally. The yield is higher for direct sowing, it is 64.1 q/ha on the other hand, it is 61.1 q/ha for conventional work. All these results are very encouraging for a possible introduction of direct sowing in cereal crops in Algeria.

**Key Words** : Conventional tillage, penetration resistance, population density, root system, soil moisture, wheat, yield

### **INTRODUCTION**

The demand for wheat (*Triticum* spp.) among Algerian consumers is constantly increasing, due to increasing urbanization. However, according to statistics, yields are low due to several climatic, genetic, technical and biological factors (Mebarki *et al.*, 2020). Apart from climatic factors, man can intervene in all the other factors to improve the production of this cultivated cereal. For this, the intensification of this culture requires the establishment of certain conditions for the use

of improved varieties, some of which already exist in Algeria. The establishment of a sustainable cultivation system to improve the physical and chemical conditions of the soil, and finally the use of suitable fertilizers to maintain the soil's production potential.

There are in fact a large number of more or less well-defined cultivation systems or techniques for preparing the soil and planting crops. The classic approach consists of grouping them together according to whether they involve in-depth work or not, which gives two main groups, work with ploughing which

<sup>2</sup>Laboratory for the Life Sciences and Techniques, Institute of Agronomic and Veterinary Sciences, Taoura, Souk-Ahras, Algeria.

<sup>3</sup>Technical Institute for Field Crops (ITGC), El Harrach, Algeria.

is generally qualified as classic or conventional (TC), and work without ploughing which is also qualified minimum working time, noted NLT (No-labour technique).

A third large group is generally admitted, that of direct sowing, that is to say that the drill is the only tillage machine used. Each of these techniques has both advantages and disadvantages.

The practice of deep ploughing, the first group, is the most widespread tillage technique in Algeria and throughout the world (Pal *et al.*, 2018; Bentahar *et al.*, 2019; Shrestha *et al.*, 2020). According to Parlawar *et al.* (2017), tillage is the mechanical manipulation of the soil and the incorporation of plant residues to prepare a suitable seedbed for planting crops. Amara *et al.* (2006) mention that conventional tillage (TC) is the result of ploughing the soil with a coulter or disc plough, followed by surface tillage operations for the preparation of the seedbed. The judicious use of tillage practices overcomes edaphic constraints, whereas inopportune tillage may cause a variety of undesirable outcomes, for example, soil structure destruction, accelerated erosion, loss of organic matter and fertility, and disruption in cycles of water, organic carbon, and plant nutrient (Asgari *et al.*, 2017; Alam, 2017; Shrestha *et al.*, 2018; Maryam Bayat *et al.*, 2019). However, this practice is suspected of being at the origin of fertility problems and especially soil erosion which are becoming more apparent in certain regions of the world (Lyon *et al.*, 1996; Stewart, 2007). Naveen Kumar and Babalad (2017) mention that among the main causes of the degradation of the agro-system are intensive tillage, the decrease in organic matter in the soil induced by agriculture, water and wind erosion, reduced rates of water infiltration, clogging and surface crusting and soil compaction.

Moreover, conversion to no-tillage systems may improve soil physical properties and increase the soil water retention in rainfed environments. In addition, savings on operating costs and reductions in machinery emissions are expected (Blanco Canqui, *et al.*, 2017; Castellini, 2019).

Boame (2005) reports that direct seeding is a green and economical practice that brings successes. The adoption of the direct seeding system is done for economic, agronomic and climatic reasons (Lopez *et al.*,

1996). According to other authors, direct seeding also participates in improving the characteristics of soil quality, namely the ability to function in a particular ecosystem to produce more biomass, maintain the quality of air and water, and ensure the health of plants and animals (Carof, 2006).

In addition to these findings, the effect of soil condition on root development and therefore on that of the plant has been and continues to be the subject of concern for several researchers. According to Roger-Estrade *et al.* (2004), the roots lead a secret life in the soil; one hectare of winter wheat can hide 300,000 km of roots, which provides water and nutrients to the crop. A well-developed root system is the result of good soil structure and is essential for high yield.

The major factors influencing root growth are: an appropriate pore system into which roots can grow, root impedance, soil water content, soil temperature, oxygen (Munoz-Romero, 2015).

Currently several studies have highlighted the different effects of agricultural practices on the physical and mechanical state of soils but work on the effects of techniques on root development is still relevant today. Cultivation methods therefore have a profound and certain influence on the shape and development of the roots; because they affect many aspects of the root environment, namely: soil moisture and temperature, pore space, oxygen concentration, distribution of organic matter, nutrient mobilization and physical configuration of surface soils.

In this introduction, we wanted to show that several researchers have been interested in the action of cultivation techniques on the soil. Through these works, it appears that working or not working the soil has advantages and disadvantages, respectively. The choice of cultivation technique is not easy; several parameters should be taken into account, those related to the soil itself and the requirements of the crop to be set up, and those related to the working conditions. For this, the choice of agricultural machinery and more particularly tillage tools need to be done in a reasoned way.

The objective of this study, which comes within the framework of a research program of the ITGC of Oued Smar, is to compare the effects of two techniques of setting up a cereal,

*durum* wheat on the state of a soil characterized by its humidity and its penetrometric resistance on the one hand, and on the development of a cereal on the other hand. This will be illustrated by the components of the yield, the diameter and lengths of the roots.

## MATERIALS AND METHODS

### Location

The tests were carried out during the 2017-18 agricultural campaign at the ITGC experimental station of Oued Smar in El-Harrach, Algiers. The site is located at the coordinates 36 ° 43' North and 3 ° 68' East at the altitude of 24 m above sea-level.

The ITGC station belongs to the sub-humid bioclimatic level which corresponds to that of the plains of Mitidja. It is characterized by a Mediterranean climate with a hot and dry summer and a cold and wet winter, with irregular rainfall and rare frosts.

The soil is clayey with 46.51% clay, 26.7% silt and 26.79% sand. According to Balpande *et al.* (2020), clay provides more points of contact between larger soil particles and helps bind soil particles together, resulting in better structure.

### Experimental Set-Up

The experiment was carried out on a plot of 111 m long and 38 m wide, with a total area of 4218 m<sup>2</sup>. The entire surface was divided into 16 micro-plots with a spacing of 1 m between micro-plots.

Taking into account the number of factors studied and the degree of heterogeneity present on the plot, authors opted for the Factorial Block Design.

The crop used for our tests is *durum* wheat (*Triticum durum*), variety "Siméto", with an average germination rate of 96.6%. It is a variety of Italian origin recently introduced in Algeria. This variety was developed through crossing between two varieties Capeit x Valomova (Zekkour, 2007). It is a variety which is resistant to drought and lodging, it gives good production.

The crop, which was the subject of the experimentation at the same plot level during the 2016-17 crop year, was berseem (*Trifolium Alexandrinum*) variety "Tigri".

The experimental design chosen was the Factorial Block Type with two factors studied, with four replications. The entire area has been divided into four blocks, the latter are subdivided into four micro-plots of equal area, where the two doses and the two techniques are practiced in each block.

### Cultivation Techniques

The conventional technique (TC) was followed for conducting this study. The ploughing was carried out by a reversible Bisoc plough at an average depth of 25 cm of the flat type. The resumption of ploughing was carried out by a Vibrocultor. The sowing was done by a row seeder (AGRIC) keeping 2.5 cm sowing depth. The direct sowing (SD) was carried out at a depth of 2.5 cm by a direct sowing machine after doing complete weeding by chemical (glyphosate). Two seed rates *viz.*, 160 kg/ha (D<sub>1</sub>) and 180 kg/ha (D<sub>2</sub>) were used in this experiment.

The tillage operations were carried out at the end of October 2017. The sowing operation was carried out on December 25, 2017 using an AGRIC type seed drill for TC and with a SULKY type seed drill for SD.

Chemical weed control was carried out on December 22, 2017 in pre-sowing for SD, with the application of glyphosate at a concentration of 3 L per 150 L of water.

For the two cultivation techniques, 100 kg/ha of urea was added as cover fertilizer. Half amount of urea (50 kg/ha) was applied at the start of tillering on 29<sup>th</sup> January 2018 and remaining half amount of urea (50 kg/ha) was applied to the late tillering stage on 2<sup>nd</sup> November 2018.

Statistical analysis was carried out using Xlstat software. It relied on single and multiple regressions to quantify the relationship between soil properties and crop yield on the one hand and the relationship between crop characteristics and yield on the other hand.

### Changes in Soil Moisture by Weight (H%)

The studies on change in soil moisture were carried out on all the micro-plots by the cylinder method. This method consists of driving a metal cylinder into the ground on a soil profile of 30 cm depth. Soil sampling was

measured by weighing before oven drying which gives the initial weight ( $P_i$ ) and weighing after the oven dried at 105°C for 24 h, which gives the dry weight ( $P_s$ ). These data were used to determine the weight of the soil moisture according to the formula cited by Duchauffour (1997) as given below:

$$H\% = 100 (P_i - P_s) / P_s$$

The effect of tillage on the underground part of the plant (the roots) was assessed by the mechanical resistance to penetration ( $R_p$  in MPa). For its determination, a static penetrometer was used. The method consists in applying a force in order to have a depression of the rod of the penetrometer in the ground, which allows us to measure the depth, using a graduation of the rod that carries the cone, and read the force value indicated by a cursor on the penetrometer (graduated in kilogram force).

#### Population Density (plants/m<sup>2</sup>)

The interest of knowing the stocking density relates mainly to the adaptation of wheat seeds in the soil. It is determined by counting the number of feet lifted per (m<sup>2</sup>) using a wooden frame measuring 1 m on each side.

#### Root Diameter (dR in mm)

After the roots were collected and sorted, their diameters were measured using an electronic Calliper. The clean roots were placed between the two ends of the Calliper, the device displays the diameter of the root on the screen.

#### Root Length (LR in cm)

After the roots were collected, their lengths were determined using a ruler.

#### Number of Ears/m<sup>2</sup>

This measurement was made using a square one meter wide thrown randomly into the micro plot. The number of ears contained in the square was counted directly. We took the average of eight samples per treatment.

#### Wheat Yield

The wheat yield was measured using the following relationship:

Estimated yield (kg/m<sup>2</sup>) = Number of ears/m<sup>2</sup> x PMG x Number of grains by ear.

#### Climatic Data from The Study Campaign

The cumulative rainfall recorded during the experimental crop period (from September 2018 to June 2019) was 588.5 mm, which was lower than a normal year for the central and eastern areas (especially Algiers) characterized by rainfall around 600 to 800 mm for the same period. The months of November, January and February were the wettest months with a maximum recorded in January (96.9 mm).

### RESULTS AND DISCUSSION

#### Soil Moisture (Humidity)

The choice of cultivation technique is essentially based on the ability to allow the soil to store water and make it available to the plant, especially when there is little or no rain. In this experiment, and regardless of the block, the soil moisture was greater at the level of direct seeding (Fig. 1).

At the level of the conventional technique, the reworking of the soil causes a large contact surface between the soil and the atmosphere, which leads to greater evaporation of water. At the level of direct-seeding plots, water was trapped in the soil and

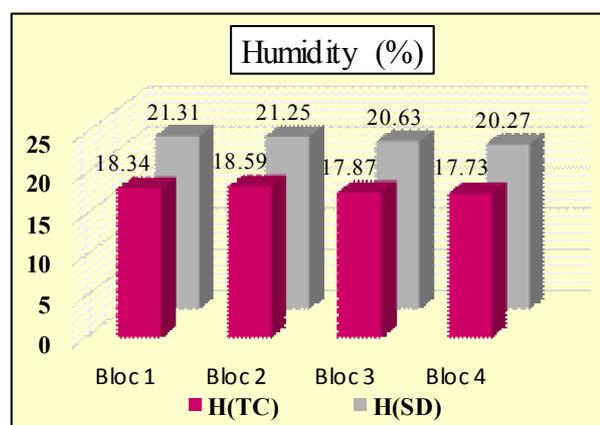


Fig. 1. Effect of cultivation techniques (TC) and seed rate (SD) on humidity.

more particularly on this type of clay texture, having a high retention capacity.

### Penetrometer Resistance

The analysis of the penetrometric resistance of the soil is interesting in more ways than one, in fact this characteristic tells us about the soil's aptitude for compaction, which is an interesting mechanical property to know.

Fig. 2 shows a significant effect of cultivation technique on resistance to soil penetration. Rp is more important in the direct seeding technique. The average values are 2.35 MPa for direct sowing and 1.96 MPa for the conventional technique. The penetrometer tip penetration depth is between 9 to 26 cm for conventional work, for direct sowing this depth is between 2 to 19 cm. The same result was also recorded by Yachi *et al.*, 2020.

### Population Density

According to Fig. 3, and regardless of the sowing rate, the population density (Lv) is better on direct sowing plots. This could be explained by a shallow sowing depth on these plots (3 cm). On the other hand, on conventionally cultivated plots the depth of the seed after sowing was greater (between 3 and 7.9 cm) given the light and porous structure on the soil surface. This corresponds to the results of Fellahi *et al.* (2010), where they observed a more homogeneous emergence and a better regularity of the sowing depth in direct sowing, while the conventional sowing presents a significantly higher rate of loss on emergence.

This is what makes poor seedbed preparation one of the main factors affecting non-germination of seeds, even if they have good germination power. Mebarki *et al.* (2020) mention that among the causes of non-emergence, the size of the clods at the level of the seed beds are the most important. In this study, this phenomenon could be reduced with a passage of the roller before sowing. The same observation was also recorded while lifting of berseem (Yachi *et al.*, 2020).

### Root Diameter

The effect of the techniques on the

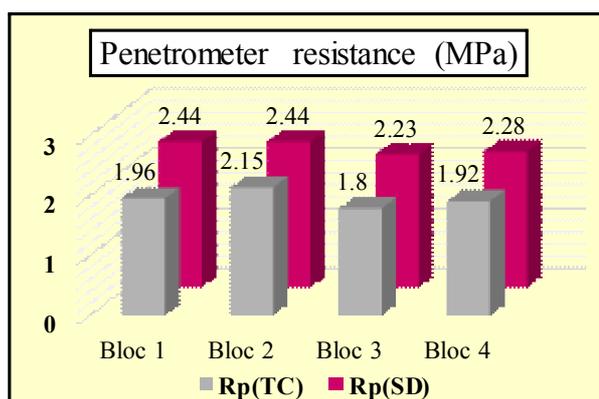


Fig. 2. Effect of cultivation techniques (TC) and seed rate (SD) on resistance to penetration.

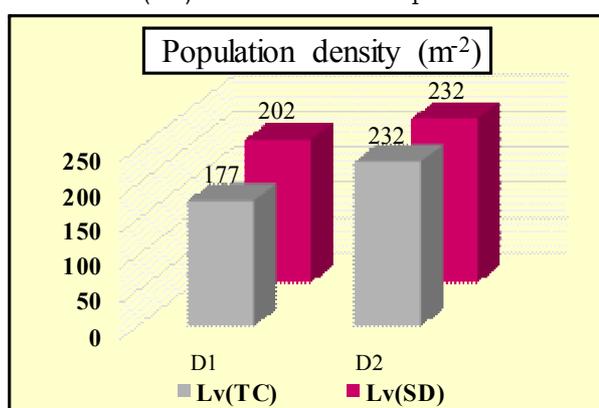


Fig. 3. Effect of cultivation techniques (TC) and seed rate (SD) on number of plants/m<sup>2</sup>.

diameter of the roots is clearly apparent at the level of each of the two doses (Figs. 4 and 5). The conventional technique had a positive effect on the diameter of the roots.

Indeed, the diameter of the roots varies from 0.88 to 0.96 mm for the conventional technique and it is only from 0.68 to 0.74 mm for the direct sowing technique. This could be explained in part by the effect of the different

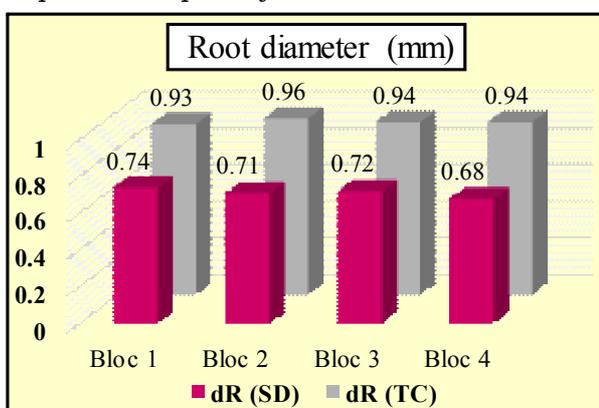


Fig. 4. Effect of cultivation techniques (TC) and seed rate (SD) on root diameter for D<sub>1</sub>.

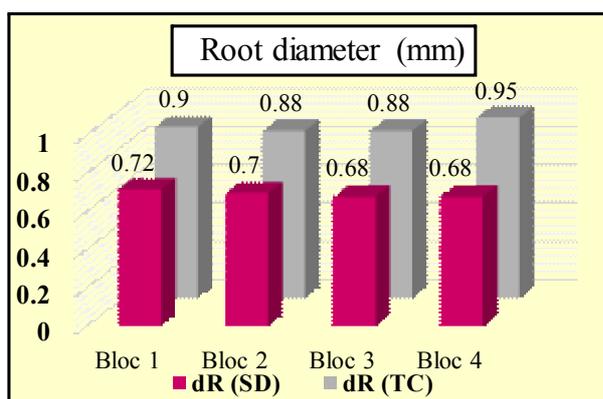


Fig. 5. Effect of cultivation techniques (TC) and seed rate (SD) on root diameter for D<sup>2</sup>.

actions of the tools on the ground. At the level of direct seeding, the density is less important than at the level of conventionally cultivated plots. The effect of the dose is therefore, not very apparent.

**Root Length**

The results relating to the development of the roots clearly show that the length of the roots is well developed on the ploughed plots (TC) whatever the sowing dose (Figs. 6 and 7), This is explained by a greater porosity at the level of the plots. The best root length is 120.8 mm, which is the same length obtained with conventional work.

**Yield**

Fig. 8 shows that the effect of the seed rate is obvious, whatever the cultivation technique, the second dose of seed rate (180 kg/ha) gives a better yield. These results are not of the same order than those obtained on other sites with the same soil texture by Amara

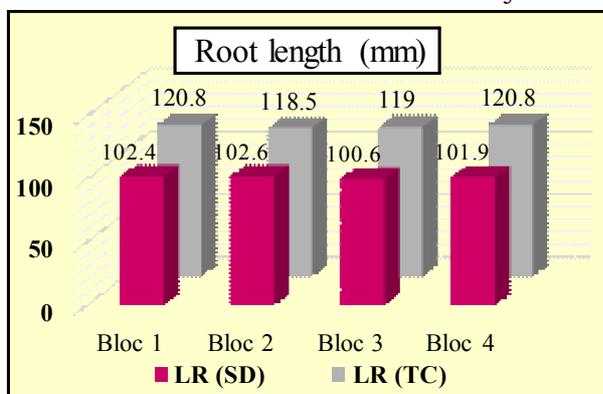


Fig. 6. Effect of cultivation techniques (TC) and seed rate (SD) on root length for D<sub>1</sub>.

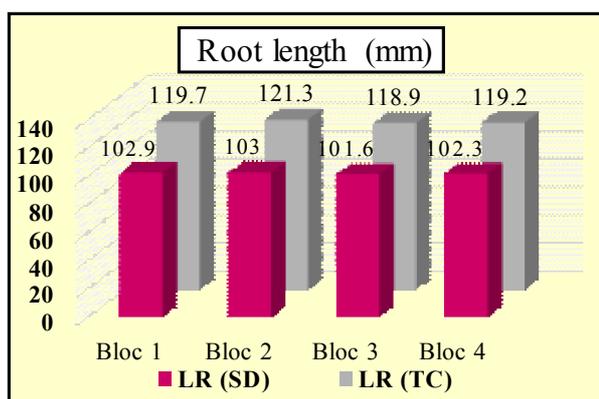


Fig. 7. Effect of cultivation techniques (TC) and seed rate (SD) on root length for D<sup>2</sup>.

et al., 2014, who have obtained on the ploughed plots, a yield of 50.03 q/ha, while on direct seeding plots, the yield was only 36.19 q/ha. The difference in yields between both techniques is highly significant.

On the other hand, under the conditions of this study the effect of the cultivation technique shows that the wheat yield is greater in direct sowing regardless of the sowing rate. This result should nevertheless be qualified with the stocking density, which is higher in the case of direct sowing, which may explain this higher yield.

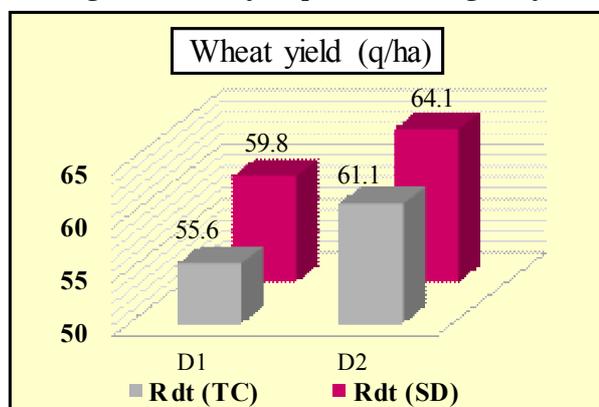


Fig. 8. Effect of cultivation techniques (TC) and seed rate (SD) on wheat yield.

The multiple regression relating the yield (Rdt) with soil moisture (H), porosity (n) and penetrometric resistance (Rp) gave the following equations :

$$RdtT1D1 = 366,275 - 3,84*nT1D1 - 9,40*HT1D1 + 0,29*RpT1D1$$

$$RdtT2D1 = -237,877 + 0,79*nT2D1 + 10,91*HT2D1 + 1,70*RpT2D1$$

For the conventional tillage, the order

of importance of the effects is as follows: Moisture (H) with a coefficient of  $-9.40$  then porosity (n) with a coefficient of  $-3.84$  and finally penetrometric resistance (Rp) with a coefficient of  $+0.29$ . For the direct sowing, the order of importance of the effects is Moisture (H) with a coefficient of  $+10.91$ , then the penetrometer resistance (Rp) with a coefficient of  $+1.70$  and finally the porosity (n) with a coefficient of  $+0.79$ .

### CONCLUSION

The results obtained in this study are very encouraging for a possible introduction of direct sowing in cereal crops in Algeria. However, it is premature to make a definitive judgment on the advisability and impact of this technique on the behaviour of the wheat, as the study was conducted over a short period of time. For the future, we recommend focusing on other parameters, such as the weight distribution of the aggregates. The aggregation weight distribution is the best way to assess and characterize the action of tools on the soil structure by giving more details on the size of the clods formed after the passage of the devices, and their proportion concerning the volume of soil stirred.

### ACKNOWLEDGEMENT

This work comes within the framework of a research program of the ITGC of Oued Smar, Algeria.

### REFERENCES

- Alam, M. K., Salahin, N., Islam, S., Begum, R. A., Hasanuzzaman, M., Islam, M. S. and Rahman, M. (2017). Patterns of change in soil organic matter, physical properties and crop productivity under tillage practices and cropping systems in Bangladesh. *J. Agric. Sci.* **155** : 216-38.
- Amara, M., Mohand Ouali, K. and Fatiha, H. (2006). Effet de succession des machines agricoles pour la mise en place d'un blé sous pivot sur le développement des racines et conséquence sur le rendement. *Rev. Terre et Vie, Juillet*, Pp. 14.
- Asari, M. J., Gharineh, M. H., Zaiyan, A. H. and Asouadar, M. A. (2017). Effects of water stress on wheat nitrogen use under minimum and conventional tillage systems. *Crop Res.* **52** : 209-17.
- Balpande, S. S., Ghodpage, R. M., Mhashe, A. R., Badole, W. P. and Deotale, S. L. (2020). Soil quality of various cropping systems in Rahat micro watershed of Vidarbha. *J. Soil Crops* **30** : 185-90.
- Bentahar, D., Amara, M. and Feddal M. A. (2020) Impacts upon cultural techniques on root system development and consequences on durum yields. Proposal of mathematical models for yield assessment. *Algerian J. Env. Sc. Technol.* **6** : 1638-646.
- Blanco Canqui, H., Wienhold, B. J., Jin, V. L., Schmer, M. R. and Kibet, L. C. (2017). Long term tillage impact on soil hydraulic properties. *Soil Till. Res.* **170** : 38-42.
- Boame, A. (2005). Zero Tillage: "A greener way for Canadian farmers". Statistics Canada. Catalogue No. 21-004-XIE.
- Carof, M. (2006). Fonctionnement de peuplements en semis direct associant du blé tendre d'hiver (*Triticum aestivum* L.) à différentes plantes de couverture en climat tempéré. Thèse de doctorat. INA PG. 132.
- Castellini, M., Stellaccin, A. M., Tomaiuolo, M. and Barca, E. (2019). Spatial variability of soil physical and hydraulic properties in a durum wheat field: An Assessment by the BEST-Procedure. *Water* **11** : doi : 10.3390/w11071434.
- Duchauffour, P. H. (1997). Abrégé de pédologie sol, végétation environnement. Masson, Paris. Pp. 921.
- Fellahi, Z. A., Hannachi, A., Chennafi, H., Makhlouf, M. and Bouzerzour, H. (2010). Effet des résidus et du travail du sol sur la cinétique de l'accumulation de la biomasse, le rendement et l'utilisation de l'eau du blé dur (*Triticum durum* Desf.) variété MBB sous conditions climatiques des hautes plaines Sétifiennes. *Soumis Sciences et Technologie Université Chlef*.
- Lopez, M. V., Arrue, J. L. and Sanchez-Giron, V. (1996). A comparison between seasonal changes in soil water storage and penetration resistance under conventional and conservation tillage systems in Aragon. *Soil Till. Res.* **37** : 251-71.
- Lyon, D. J., Boa, F. and Arkebauer, T. J. (1996). Water-yield relations of several spring-planted dryland crops following winter wheat. *J. Prod. Agric.* **8** : 281-71.
- Maryam Bayat, Elena Pakina, Tamara Astarkhanova, Abdul Nasir Sediqi, Meisam Zargar and Valentin Vvedenskiy (2019). Review on agro-nanotechnology for ameliorating strawberry cultivation. *Res. on Crops* **20** : 731-34.
- Mebarki, M. N., Feddal, M. A., Feddal-Taibi, S., Labad, R. and Mohammedi, Z. (2020).

- Analysis of the combined effect of direct seeding with seeding depth on the behaviour of a durum wheat. *J. Soils Crops* **30** : 1-13.
- Munoz-Romero, V., López-Bellido, L. and López-Bellido, R. J. (2015). Effect of tillage system on soil temperature in a rainfed Mediterranean Vertisol. *Int. Agrophys.* **29** : 467-73.
- Naveen Kumar, B. T. and Babalad, H. B. (2017). Conservation agriculture to sustain the productivity and soil health in cotton and groundnut intercropping system. *J. Soils Crops* **27** : 24-33.
- Pal, D., Patra, P. K. and Mukhopadhyay, D. (2018). Effect of tillage and organic residues on yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). **19** : 373-79.
- Parlawar, N. D., Jiotode, D. J., Kubde, K. J., Ajay Kumar Meena and Mohod, A. R. (2017). Effect of tillage on growth, yield and yield components in soybean. *J. Soils Crops* **27** : 192-98.
- Roger-Estrade, J., Richard, G., Caneill, J., Boizard, H., Coquet, Y., Defossez, P. and Manichon, H. (2004). Morphological characterization of soil structure in tilled fields: from a diagnosis method to the modelling of structural changes over time. *Soil Till. Res.* **79** : 33-49.
- Shrestha, J., Subedi, S., Timsina, K. P., Chaudhary, A., Kandel, M. and Tripath, S. (2020). Conservation agriculture as an approach towards sustainable crop production : A review. *Farm. Manage.* **5** : 7-15.
- Shrestha, K. P., Giri, R., Kafle, S., Chaudhari, R. and Shrestha, J. (2018). Zero tillage impacts on economics of wheat production in far western Nepal. *Farm. Manage.* **3** : 93-99.
- Stewart, B. A. (2007). Water conservation and water use efficiency in dry lands. In: Stewart, B., Fares Asfary, A., Belloum, A., Steiner, K., Friedrich, T. (Eds.), proceedings of the International Workshop on Conservation Agriculture for Sustainable Land Management to Improve the Livelihood of People in Dry Areas, 7-9 May 2007. ACSAD and GTZ, Damascus, Syria. Pp. 57-66.
- Yachi, A., Amara, M., Feddal, M. A., Bentahar, D., Bouhouchine, M. and Belkacemi, A. (2020). Influence de deux techniques culturales sur la croissance et le développement du Bersim (*Trifolium alexandrinum*) en Algérie. *Fourrages* **243** : 63-69.
- Zekkour, M. (2007). Effet de la fertilisation phosphatée sur le comportement et la population d'une culture de blé dur (*Triticum durum* Var. Dimeto) conduite en conditions sahariennes dans la région d'El Goléa. Thèse. Ing, Agro, Agro, ANFS/AS (Ouargla), partie expérimentale. pp. 103.

Cet article de la revue **Fourrages**,  
est édité par l'Association Française pour la Production Fourragère

Pour toute recherche dans la base de données  
et pour vous abonner :

**[www.afpf-asso.org](http://www.afpf-asso.org)**

# Influence de deux techniques culturales sur la croissance et le développement du Bersim (*Trifolium Alexandrinum*) en Algérie

A. Yachi<sup>1</sup>, M. Amara<sup>1</sup>, M. Feddal<sup>1</sup>, D. Bentahar<sup>2</sup>, M. Bouhouchine<sup>2</sup>, A. Belkacemi<sup>1</sup>

## RESUME

Ce travail, qui rentre dans le cadre d'un programme de recherche de l'ITGC de Oued Smar, porte sur une étude comparative de l'effet de deux techniques culturales : le travail conventionnel et le semis direct, sur l'état du sol et les conséquences sur le développement et le rendement de la culture du Bersim. Les résultats des différents essais ont montré que la résistance pénétrométrique est plus importante au niveau des parcelles du semis direct avec une valeur de 31,92 daN/cm<sup>2</sup>, alors qu'au niveau des parcelles travaillées conventionnellement elle est de 26,98 daN/cm<sup>2</sup>. Le rendement est plus important au niveau du semis direct, il est de 4,34 T/ha par contre il est de 3,54 T/ha pour le travail conventionnel.

## ABSTRACT

**Effect of two cropping techniques on the growth and development of berseem clover (*Trifolium alexandrinum*) in Algeria.**

This study was carried out as part of a research program at the Oued Smar ITGC. The objective was to compare the effects of two cropping techniques—conventional tillage and direct seeding—on the state of the soil as well as on the development and yield of berseem clover (*Trifolium alexandrinum*). We found that penetrometer resistance was higher in the direct-seeding plots than in the conventional-tillage plots (31.92 daN/cm<sup>2</sup> vs. 26.98 daN/cm<sup>2</sup>, respectively). Yield was also higher in the direct-seeding plots than in the conventional-tillage plots (4.34 t/ha vs. 3.54 t/ha, respectively).

## Introduction

En Algérie, les cultures fourragères occupent une place marginale au sein des productions végétales au regard de la faible superficie allouée à ces cultures (Abdelguerfi et al., 2008). Elles contribuent faiblement à l'alimentation des herbivores comparées aux plantes fourragères spontanées (25 462 ha de prairie naturelle et 3 573 009 ha de jachère). Les cultures fourragères occupent annuellement 493 793 hectares (MADR, 2007b) soit un peu plus de 5,8 % de la surface agricole utile (8,5 millions d'hectares) (MADR, 2007a).

En Algérie, le bersim semble être l'une des principales espèces du genre trifolium connue et cultivé par nos agriculteurs, c'est un fourrage précieux qui rentre facilement dans l'assolement et qui laisse le terrain libre assez tôt pour semer une culture d'été ou d'automne. Du point de vue écologique, le bersim est un moyen efficace de lutte non chimique contre les adventices par étouffement et laisse le sol propre, grâce à sa végétation luxuriante et l'effet des coupes fréquentes (Bounejmât, 1997).

D'un point de vue économique, le bersim peut enrichir le sol en matière organique et entretenir la fertilité du sol par la fixation d'azote (Hamadache, 2003).

Sur le plan nutritif, le bersim produit d'importantes quantités de fourrage durant les périodes hivernales et printanières et semble complémentaire à la culture de la luzerne. La luzerne fournie du fourrage de mai à octobre et le bersim prend le relai après une période de soudure plus ou moins brève. Bien que la superficie cultivée en Luzerne en Algérie soit très faible par rapport à la superficie totale des cultures fourragères, elle est considérée comme l'une des espèces utilisées en rotation avec le blé. En 2014, la superficie cultivée en luzerne est estimée à 6271 hectares avec une production nationale de 507,7 tonnes (MADR, 2015).

Sur le plan qualitatif, le bersim revêt un intérêt certain auprès des éleveurs laitiers en Algérie (MAP, 1996), ce fourrage vert est très digestible et riche en matières azotées ce qui favorise la production laitière.

Cette culture peut aussi provoquer à long terme une amélioration de la structure physique du sol en

## AUTEURS

1 : Ecole Nationale Supérieure Agronomique (ENSA), ES1603, Laboratoire Maitrise de l'eau en Agriculture, El Harrach, Alger ; wahidosse@gmail.com

2 : Institut Technique des Grande Cultures El-Harrach, Alger

**MOTS-CLES :** Semis direct, humidité, résistance pénétrométrique, système racinaire, partie aérienne, rendement

**KEY-WORDS :** direct seeding, moisture, penetrometer resistance, root system, stem, crop yield

**REFERENCES DE L'ARTICLE :** Yachi A., Amara M., Feddal M., Bentahar D., Bouhouchine M., Belkacemi A. (2020). «Influence de deux techniques culturales sur la croissance et le développement du Bersim (*Trifolium Alexandrinum*) en Algérie» *Fourrages*, 243, 63-69

formant dans le sens vertical des petits canaux qui se conservent après l'humification des racines, et donc améliore la circulation de l'eau et des matières nutritives dans le sol (Villax, 1963).

Le but de toute activité agricole vise l'obtention de meilleurs rendements tant aux points de vue quantité que qualité. Ces rendements dépendent de plusieurs facteurs : les uns sont liés au milieu (sol-climat), les autres au potentiel génétique de la plante mais aussi de la technique culturale utilisée. La préparation du sol et le suivi de la culture durant son développement sont autant de facteurs à prendre en considération.

La pratique du labour profond est la technique de travail du sol la plus répandue en Algérie et dans le monde. Cette pratique a permis, dès l'introduction de la charrue à soc et du tracteur, d'augmenter les rendements, grâce à son action sur le développement des adventices, car elle assure un bon enfouissement des résidus de récoltes, elle met à la disposition de la culture une couche arable plus conséquente, elle assure également une rapide minéralisation de la matière organique et permet une bonne infiltration de l'eau du sol.

Les essais réalisés par Amara et al. (2008) ont aussi montré que l'action des pièces travaillantes modifie fortement les valeurs de la porosité, de l'humidité et de la résistance pénétrométrique du sol.

Ces dernières décennies, avec le progrès des techniques agricoles, on assiste à une évolution des méthodes du travail du sol qui vise à supprimer entièrement le labour ou à diminuer son intensité, ce sont les techniques dites simplifiées sans labour et semis direct. Ces alternatives au labour profond sont des nouvelles pratiques agricoles qui favorisent la durabilité du sol. Dans le cas où les résidus des cultures, au moins 30%, sont laissés en surface du sol, une telle pratique est dite agriculture de conservation. (Labreuche et al., 2007).

L'introduction de ces nouvelles techniques de semis ne doit pas se limiter uniquement au problème économique mais doit prendre en considération le bon développement de la culture et de son système racinaire.

Malheureusement le système racinaire de cette culture est difficile à observer au champ. Il est important pour la production d'une culture mais aussi pour la fertilité future du sol, d'avoir un système racinaire bien développé.

A cet effet un intérêt particulier doit être porté sur le développement des racines de la culture à mettre en place.

C'est dans cette logique que notre travail est orienté, il porte principalement sur une analyse des effets de deux techniques culturales, le travail conventionnel et le semis direct, sur l'évolution de l'état structural du sol et les conséquences sur le développement de la culture du Bersim. Pour répondre à cet objectif, une analyse des différents paramètres liés

au sol (Humidité et la résistance mécanique à la pénétration) et d'autres liés au développement de la culture (hauteur de la plante, développement racinaire et rendement) a été effectuée. Un autre facteur important qui influe sur le rendement a été étudié, c'est la densité de semis, les doses choisies sont 15kg/ha pour dose 1 (D1) et 25 kg/ha pour dose 2 (D2). La dose généralement utilisée se situe entre 15 et 30Kg/ha selon les conditions pédoclimatiques de la région, des caractéristiques de la semence et du type de fourrage associé.

## 1. Moyens matériels et méthodes

### 1.1. Localisation

Les mesures ont été réalisées durant la campagne agricole 2018/2019 au niveau de la station expérimentale de l'ITGC d'Oued Smar à El-Harrach, Alger (36°43' N, 3°68'E à l'altitude de 24m au-dessus de niveau de la mer).

La station de l'ITGC appartient à l'étage bioclimatique subhumide qui correspond à celui de la pleine de Mitidja. Elle est caractérisée par un climat méditerranéen avec un été chaud et sec et un hiver froid et humide, à pluviométrie irrégulière et de rares gelées.

Le sol est argileux, avec 46,51% d'argile, 26,7% de limon et 26,79% de sable.

### 1.2. Dispositif expérimental

La culture utilisée pour nos mesures est le Bersim (*Trifolium Alexandrinum*), variété « Tigri », avec un taux de germination moyen de 92,4 %. Le bersim est adapté aux régions à hivers doux sans risque de gel. Sa croissance est optimale entre 12 °C et 25°C. A 35°C les jeunes plantes meurent et à 6°C sa croissance ralentit considérablement. (Abdelguerfi et al., 2008).

Le choix de la culture rentre dans le programme de l'essai de l'introduction du semis direct en Algérie de l'ITGC avec une rotation blé/bersim depuis 2004. La culture qui a fait l'objet de l'expérimentation au niveau de la même parcelle et pendant la campagne culturale 2017/2018 était le blé dur «*Triticum durum*», variété Siméto.

Pour la réalisation de nos essais et tenant compte du microrelief de la parcelle, le dispositif expérimental choisi est de type factoriel bloc à deux facteurs étudiés, avec quatre répétitions. La totalité de la surface a été divisé en quatre parcelles, ces derniers sont subdivisés en quatre micro-parcelles de surface égale, où les deux doses et les deux techniques sont pratiquées dans chaque parcelle.

#### ◆ Premier facteur : la technique culturale

La technique conventionnelle (TC) : le labour a été réalisé par une charrue bisocs réversible à une profondeur moyenne de 22 cm de type à plat. La reprise

de labour a été réalisée par un vibroculteur. Un passage du rouleau Croskill a été effectué directement après le semis (semoir en ligne) pour améliorer le contact sol-graine, la profondeur de semis choisie est 1 cm.

Il est important de noter que nous avons gardé le même itinéraire technique utilisé par nos agriculteurs, ils dépendent de la cage à l'arrière du vibroculteur pour la préparation du lit de semence.

Le semis direct (SD) : le semis a été réalisé par un semoir de semis direct après un désherbage total par lutte chimique (Glyphosate), la profondeur de semis choisie est 1 cm.

#### ◆ **Le deuxième facteur : la dose de semis**

Deux niveaux de semis: D1 (15 kg/ha) et D2 (25 kg/ha).

Pour un semis mécanique, le bersim est semé à une dose de 20 à 25 kg/ha. En sol battant et en conduite irriguée, la dose peut être augmentée jusqu'à 40 kg/ha. (ITGC, 2019). Généralement la densité de semis est de 25 kg/ha en pure et elle est de 10 à 15 kg/ha en association avec une autre culture (Minette, 2009).

Pour TC, les opérations de travail du sol ont été exécutées fin octobre 2015, dans des conditions d'humidité moyenne (14%).

Pour les deux techniques culturales, 100 kg/ha de N-P-K (12-52-0) ont été apportés comme engrais de fond.

L'opération de semis a été effectuée le 11 novembre 2015 à l'aide d'un semoir en ligne de type AGRIC pour TC, et avec un semoir de type SULKY pour SD.

La lutte chimique contre les adventices a été réalisée en pré-semis pour SD, avec l'application de glyphosate à une concentration de 2 L pour 150 L d'eau.

### **1.3. Paramètres et méthodes de mesure**

#### ◆ **Les paramètres liés au sol**

L'évolution de **l'humidité pondérale du sol (H%)** : réalisée sur toutes les micro-parcelles, par la méthode du cylindre. Cette méthode consiste à enfoncer un cylindre métallique dans le sol sur un profil de 30 cm. L'échantillonnage du sol est mesuré par pesage avant l'étuve qui nous donne le poids initial ( $P_i$ ), et un pesage après l'étuve (105°C, 24h) qui nous donne le poids sec ( $P_s$ ). Ces données vont nous permettre de déterminer l'humidité pondérale du sol selon la formule citée par Duhauffour (1997) :

$$H\% = 100 (P_i - P_s) / P_s.$$

L'effet du travail du sol sur la partie souterraine de la plante (les racines) est évalué par **la résistance mécanique à la pénétration** ( $R_p$ , en  $daN/cm^2$ ). Pour sa détermination, on a utilisé un pénétromètre statique. La méthode consiste à appliquer une force afin d'avoir un enfoncement de la tige du pénétromètre dans le sol, ce qui nous permet de mesurer la profondeur, à l'aide d'une graduation de la tige qui porte le cône, et lire la valeur

de la force indiquée par un curseur sur le pénétromètre (graduée en kilogramme-force).

#### ◆ **Les paramètres liés à la culture**

Le **taux de levée** (plantule/m<sup>2</sup>) : l'intérêt de le connaître porte essentiellement sur l'adaptation des graines du bersim aux conditions réelles, c'est-à-dire le sol. Il est déterminé par comptage du nombre de pieds levés par m<sup>2</sup> à l'aide d'un cadre en bois mesurant 1m de chaque côté.

La **densité des racines (dR, en g/cm<sup>3</sup>)**. Les racines ont été prélevées pour chaque technique culturale et pour les deux doses de semis à l'aide d'un cube métallique mesurant 25 cm de chaque côté. Les racines prélevées ont été mises à l'étuve (105°C, 24h), afin d'avoir le poids sec par pesage.

La **densité des nodules** (Nodule/ha), l'analyse de ce paramètre revêt une double importance, économique avec la prévision de la fertilisation, agronomique et même environnemental. Les racines ont été prélevées *via* deux coupes (trois prélèvements par micro-parcelle), après les prélèvements, les nodules ont été observés et quantifiés.

L'**infestation en adventices (MH %)**. La végétation a été prélevée (pour les deux coupes) à l'aide d'un cadre en bois mesurant 1m de chaque côté (trois prélèvements par micro-parcelle). Bersim et adventices ont été séparés et mises à l'étuve (105°C, 24h) après les avoir identifiés, afin d'avoir le poids sec par pesage ( $P_{MSB}$ , en g pour le Bersim) et ( $P_{MSMH}$ , en g pour les mauvaises herbes),  $MH\%$  est calculé par la formule suivante :

$$MH\% = 100 [P_{MSMH} / (P_{MSMH} + P_{MSB})].$$

Le **rendement de la culture en matière sèche (Rdt MS en q/ha)**, l'estimation du rendement a été déterminée (pour les deux coupes) à l'aide d'un cadre en bois mesurant 1m de chaque côté (trois prélèvements par micro-parcelle), le Bersim a été pesé en vert et mis à l'étuve (105°C, 24h) pour avoir le poids de la matière sèche.

Le **rapport MS/MV**. Un intérêt particulier est porté sur l'effet des techniques et de la dose de semis sur le taux de matière sèche (MS%) par rapport à la matière verte (MV%). Cela pourrait nous informer sur la qualité du fourrage. Sauf l'eau, tous les éléments nutritifs requis pour la production de lait se trouvent dans la MS des aliments, c'est ce qui l'a rendu importante en termes de quantité. Plus la quantité de MS est importante, meilleur est le fourrage.

La méthode utilisée pour quantifier les différentes interactions est la méthode statistique par l'analyse des corrélations simples et des régressions multiples lorsque l'intérêt est porté sur les effets combinés.

### **1.4. Données climatiques de la campagne d'étude**

Le cumul pluviométrique enregistré durant les périodes de l'essai (de septembre 2015 à mai 2016) était de 573,6 mm, ce qui est inférieur à une année normale pour les zones centrales et orientales (notamment Alger)

caractérisés par une pluviométrie autour de 600-800 mm pour cette même période. Les mois d'octobre, février et mars ont été les plus arrosés avec un maximum enregistré en février (105,2 mm). L'absence totale de pluie a été enregistrée au mois de décembre (0 mm).

## 2. Résultats et discussions

### 2.1. Effet des techniques de semis sur l'état structural du sol

#### ◆ Effet sur l'humidité du sol

Le choix de la technique culturale repose essentiellement sur la capacité à permettre au sol de stocker l'eau et de la rendre disponible à la plante particulièrement quand il y a peu ou pas de pluie.

L'humidité du sol semble être similaire dans notre essai mené sur sols argileux peu importe la technique culturale utilisé même si la conservation de l'humidité semble légèrement supérieure en semis directe (Figure 1).

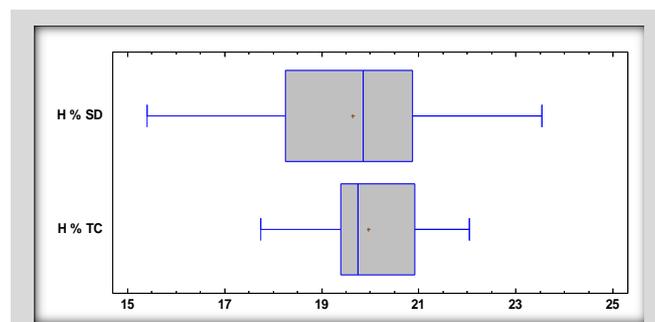


FIGURE 1 : Effet de la technique sur l'humidité pondérale

Figure 1 : *Effect of cropping technique on gravimetric soil water content*

#### ◆ Effet sur la résistance mécanique du sol à la pénétration

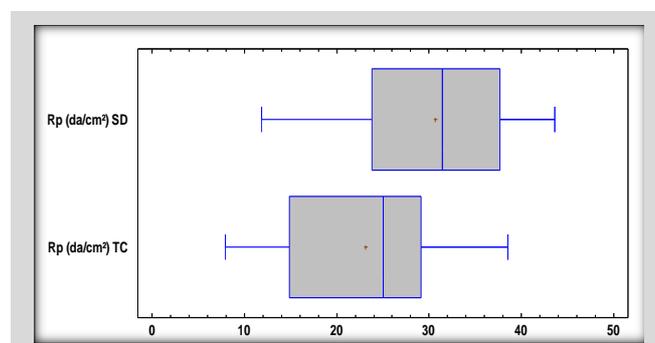


FIGURE 2 : Effet de la technique sur la résistance à la pénétration

Figure 2 : *Effect of cropping technique on soil resistance to penetration*

La figure 2 montre un effet significatif de la technique du semis sur la résistance à la pénétration du

sol. Rp est plus importante au niveau de la technique du semis direct. Les valeurs sont respectivement de 31,92 daN/cm<sup>2</sup> pour le semis direct et de 26,98 daN/cm<sup>2</sup> pour la technique conventionnelle. La profondeur de pénétration de la pointe du pénétromètre est comprise entre 15 à 30 cm pour le travail conventionnel ; pour le semis direct cette profondeur est comprise entre 2 à 18 cm.

### 2.2. Effet des techniques culturales sur différents compartiments de la plante

#### ◆ Effet sur la levée

D'après la figure 3, pour les quatre parcelles et quelle que soit la dose de semis, le taux de levée est meilleur sur les parcelles en semis direct. Ce qui pourrait s'expliquer par une faible profondeur de semis sur ces parcelles (1 cm). Par contre, sur les parcelles travaillées conventionnellement la profondeur de la graine après le semis est plus importante (entre 1 et 6,8 cm) vue la structure légère et poreuse à la surface du sol. Ce phénomène pourrait être réduit avec un roulage avant le semis.

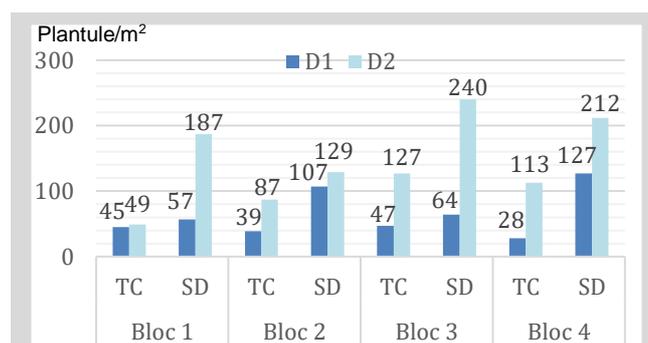


FIGURE 3 : Effet de la technique sur la levée du Bersim

Figure 3: *Effect of cropping technique on berseem clover emergence*

#### ◆ Effet sur la densité des racines

Les diamètres des racines au niveau des micro-parcelles travaillées conventionnellement sont plus

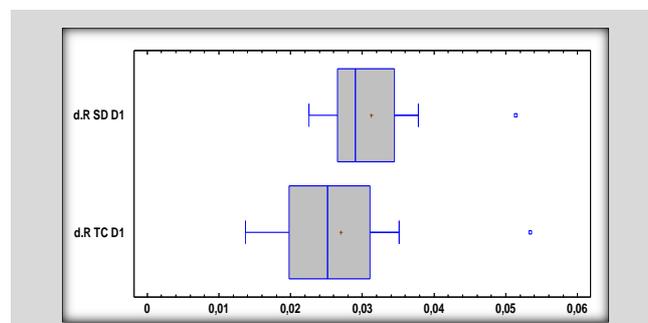


FIGURE 4 : Effet de la technique sur la densité racinaire pour D1

Figure 4 : *Effect of cropping technique on root density for D1*

grands par rapport à ceux des micro-parcelles de semis direct. Ce constat est dû à l'état du sol qui est plus poreux sur les parcelles travaillées conventionnellement.

D'après les figures 4 et 5, sur un profil de 25 cm de profondeur, la densité des racines est plus importante dans les parcelles en semis direct quel que soit la dose de semis. C'est-à-dire l'effet de technique culturale sur « dR » est significatif.

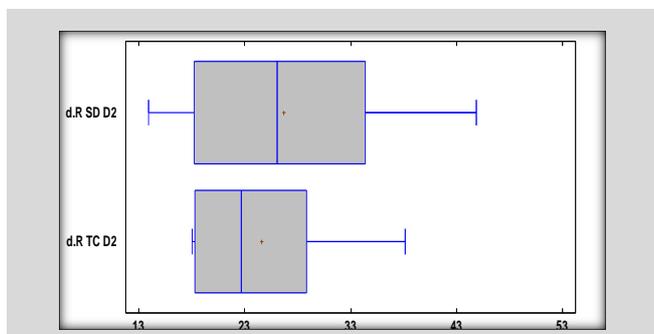


FIGURE 5 : Effet de la technique sur la densité racinaire pour D2

Figure 5: *Effect of cropping technique on root density for D2*

#### ◆ Effet sur la densité des nodules

D'après la figure 6, pour la 1ère coupe, le nombre de nodules est important au niveau des micro-parcelles de semis direct quel que soit la dose de semis. Pour la 2ème coupe (en D1), le nombre de nodules est similaire pour les deux techniques, alors que pour la D2, le nombre de nodules est plus important en semis direct.

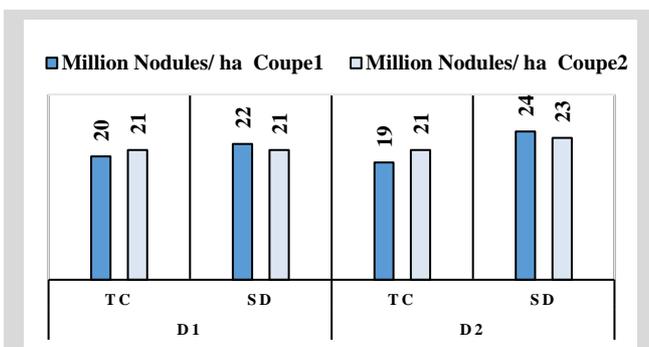


FIGURE 6 : Effet de la technique culturale sur l'abondance des nodules

Figure 6: *Effect of cropping technique on root nodule abundance*

Cela s'explique par le fait que la densité des racines au niveau des micro-parcelles de semis direct est plus importante en comparaison aux micro-parcelles travaillées conventionnellement. Néanmoins le meilleur taux de levée de la culture en semis direct peut aussi expliquer le taux de nodules.

#### ◆ Effet sur l'infestation en adventices

Le taux d'adventices pour la D1 en travail conventionnel passe de 57,5% de matière sèche total (Bersim et adventices) à la 1ère coupe, à 36% à la 2ème coupe, et pour le semis direct, le taux passe de 51,5% à 45,9% (figure 7).

Pour la D2, le taux d'adventices en travail conventionnel passe de 51,9 % de matière sèche total à la 1ère coupe, à 48,9% à la 2ème coupe. et pour le semis direct le taux passe de 55,7% à 29,3%. Ce qui confirme les recherches réalisées par l'institut technique des grandes cultures en 1989 à Oued-Smar. Ils ont trouvé une variation du taux d'adventices de 42% de matière sèche total à la première coupe (février), à 3% à la troisième coupe effectuée au mois d'avril (Benbernou, 2004), ce résultat a été obtenu après avoir atteint un taux de levée de 384 plantules/m<sup>2</sup>.

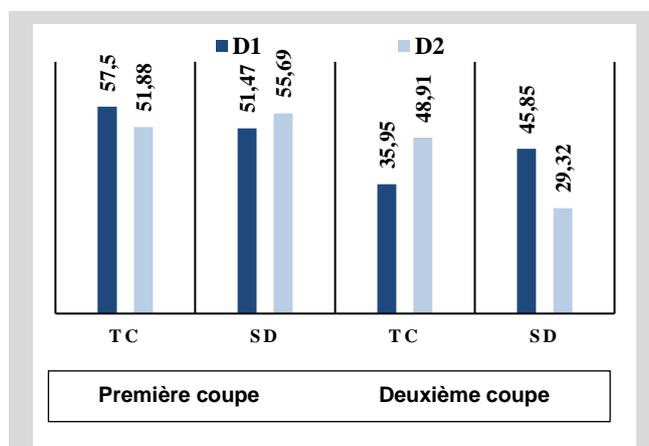


FIGURE 7 : Effet de la technique culturale sur le taux d'adventices (%)

Figure 7: *Effect of cropping technique on weed presence (%)*

#### ◆ Rendement du Bersim

Dans les conditions de notre essai, le rendement en MS est plus important en semis direct pour les deux coupes peu importe la dose de semis (figure 8 et 9).

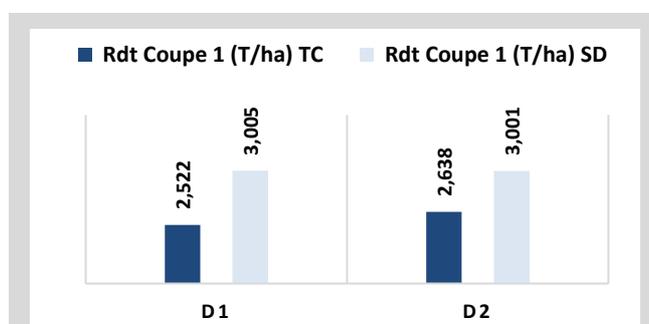
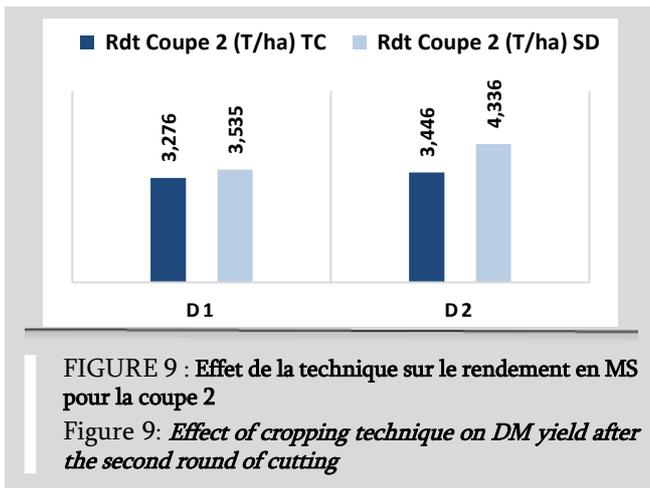


FIGURE 8 : Effet de la technique sur le rendement en MS pour la coupe 1.

Figure 8: *Effect of cropping technique on DM yield after the first round of cutting*

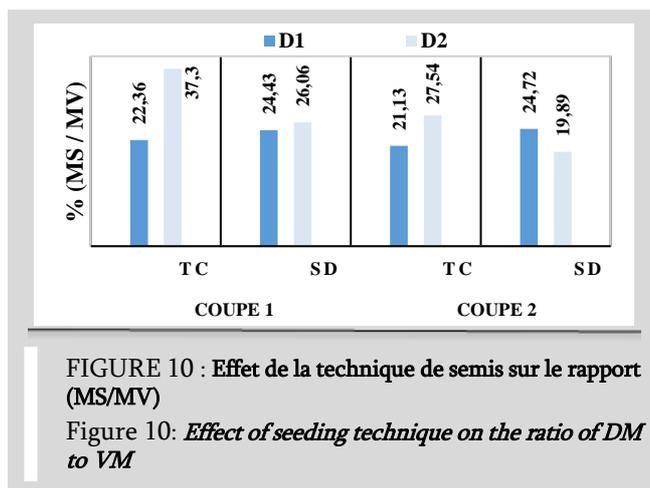


Pour la 1ère coupe, le rendement de MS en semis direct est 16,1% supérieur au rendement de MS en travail conventionnel pour la dose de semis D1 et 12,1% pour la dose de semis D2. A la 2ème coupe, le rendement de MS en semis direct est 7,3% supérieur au rendement de MS en travail conventionnel pour la dose D1 et 20,5% pour la dose D2.

Ce résultat est néanmoins à nuancer avec le taux de levée, qui est supérieur dans le cas du semis direct, ce qui peut expliquer ce rendement plus important.

#### ◆ Effet sur le rapport MS/MV

D'après la figure 10, et pour D1, le pourcentage de la matière sèche (MS) par rapport à la matière verte (MV) est important au niveau de SD et cela pour les deux coupes. Pour D2, le pourcentage est plus important au niveau de TC pour les deux coupes.



### 3. Conclusion

La question de recherche concernait l'impact des techniques culturales sur la modification de la structure du sol, en vue d'optimiser le rendement du Bersim. Après une année d'application des traitements, nos résultats montrent que la structure du sol de chaque

modalité de travail du sol semble être modifiée par l'action des pièces travaillantes des outils aratoires.

La campagne d'étude s'est caractérisée par des conditions hydriques d'automne et hiver très défavorables, qui n'ont permis de différencier que légèrement les deux modalités de travail du sol,

Pour la résistance pénétrométrique, les résultats montrent que les parcelles non travaillées présentent une résistance à la pénétration plus élevée, vraisemblablement, cette compaction retrace l'histoire de la parcelle. Le labour permet de réduire significativement  $R_p$  en profondeur, alors que le non retournement du sol cause une augmentation de  $R_p$  sur tout le profil. A partir de ces résultats on peut prévoir que des racines se développeront plus facilement sur les parcelles travaillées avec la charrue à soc. Mais il faut rester toutefois prudent, parce qu'aucune relation directe n'a été établie entre la résistance pénétrométrique et la croissance racinaire. Pour prendre une décision sur le choix des outils favorisant une bonne structure du sol, il devient impératif de prendre en considération certaines propriétés du sol, telles que la résistance pénétrométrique du sol, qui reste un bon indicateur pour la détection des semelles de labour.

Dans les conditions de notre essai, le semis direct permet une meilleure levée de la culture de bersim, cela peut être expliqué par la régularité de la profondeur de semis, obtenue par le réglage hydraulique du semoir de semis direct, contrairement au semoir en ligne ou le réglage se fait par une commande mécanique.

Le meilleur rendement obtenu a été enregistré en semis direct avec une forte dose de semis avec 4,3 T/ha contre 3,5 T/ha en conventionnel. Alors qu'en dose faible, le rendement obtenu semble être similaire.

Tous ces résultats sont très encourageants pour une éventuelle introduction du semis direct dans les cultures fourragères en Algérie, ce système étant actuellement réservé qu'aux céréales. Néanmoins, il est prématuré de se prononcer définitivement sur l'opportunité et l'incidence de cette technique sur le comportement du bersim, car l'étude a été menée sur un temps court, d'autant plus qu'en semis direct, il faut laisser le sol minimum cinq ans sans intervention mécanique pour voir ses avantages.

Certains aspects du semis direct sous couverture végétale affectent les systèmes d'élevage, et peuvent être un frein à sa diffusion. La permanence du paillis en surface peut être remise en cause dans les régions à vocation élevage-pâturage. En effet, les systèmes de semis direct impliquent l'utilisation de résidus de culture, non pas comme fourrages, mais comme couverture. Ainsi, les parcelles ne peuvent pas être pâturées après la récolte des grains, ce qui pose un problème essentiel pour les systèmes d'élevage reposants sur le pâturage. Ce problème concerne également les exploitations sans ruminants qui peuvent vendre un droit de pâturage aux éleveurs, qui représente

des entrées d'argent non négligeables pour les petites structures.

L'essai a mis en évidence l'intérêt d'introduction des fourrages verts à base de légumineuses dans les systèmes fourragers de l'Algérie du Nord.

Après avoir testé les potentialités du bersim sous climat humide, il sera intéressant de le tester dans les zones types d'élevage où le déficit hydrique est plus prononcé tels que les hauts plateaux algériens (le semis direct y a fait ses preuves en céréaliculture). Il faut néanmoins prendre en considération la grande pression du bétail sur les résidus de récolte dans ces régions où la subsistance repose sur la production de grains. Dans ces régions particulièrement, l'amélioration et la gestion des pâturages doivent être considérés et intégrés aux pratiques de semis direct.

Texte accepté pour publication le 31 juillet 2020

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdelguerfi A., Laouar M., Bouzina M., (2008). « Les productions fourragères et pastorales en Algérie : situation et possibilités d'amélioration », Revue Semestrielle 'Agriculture & développement' (INVA, Alger), Janvier 2008, n°6 : 14-25
- Amara M., Boudhar L., Adli N., Feddal M.A., (2008). "Evolution de la résistance pénétrométrique du sol en relation avec l'humidité et la porosité, sous l'action des pièces travaillantes d'une chaîne classique de préparation du sol ». Vol. 2, n° 1 et 2 — Janvier-décembre 2008, *Science et technique, Sciences appliquées et Technologies*. Burkina Faso.
- Benbernou S., (2004). « Production fourragères ». Céréaliculture, n°38, ITGC, P. P. 23-27.
- Bounejmate M., (1997). « Bersim (*Trifolium Alexandrinum* L). Production et utilisation des cultures fourragères au MAROC ». INRA, 140-147.
- Duchauffour P.H., (1997). « Abrégé de pédologie sol, végétation environnement ». Masson, Paris, 921p
- Hamadache A., (2003). « Les ressources fourragères actuelles en Algérie : situation et possibilité d'amélioration ». Acte de l'atelier national sur la stratégie de développement des cultures fourragères en Algérie. ITGC. P.P. 18-19.
- ITGC, (2019). « Le bersim ou trèfle d'Alexandrie (*Trifolium alexandrinum*) ». Fiche technique. 2p. Consultable sur : [http://www.itgc.dz/wp-content/uploads/2019/12/bersime\\_compressed.pdf](http://www.itgc.dz/wp-content/uploads/2019/12/bersime_compressed.pdf)
- Labreuche J., Le Souder C., Castillon P., Ouvry J.F., Real B., Germon J.C. Et De Tourdonnet S. (coordinateurs), (2007). « Evaluation des impacts environnementaux des Techniques Culturelles Sans Labour en France ». ADEME-ARVALIS. Institut du végétal-INRA-APCA-AREAS-ITB-CETIOMIFVV. 400 p.
- M.A.D.R, (2007a). Statistiques agricoles, série A, année 2007. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural d'Algérie.
- M.A.D.R, (2007b). Statistiques agricoles, série B, année 2007. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural d'Algérie.
- M.A.D.R, (2015). Statistiques agricoles, série B, année 2015. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural d'Algérie.
- MAP., (1996). « Conférence national sur le développement agricole. Rapport de synthèse ». Direction des affaires juridiques et de la réglementation de la production laitière, Alger, Ministère de l'Agriculture et de la pêche. 20p.
- Minette S., (2009). « Caractéristiques des principales cultures intermédiaires ».25p. Consultable sur : [https://agriculture-de-conservation.com/sites/agriculture-de-conservation.com/IMG/pdf/IPC\\_cultures\\_intermediaires.pdf](https://agriculture-de-conservation.com/sites/agriculture-de-conservation.com/IMG/pdf/IPC_cultures_intermediaires.pdf)
- Villax E.J., (1963). « La culture des plantes fourragères dans la région méditerranéenne ». INRA, RABAT (MAROC), 407-641.