



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 للزراعة الحراش-الجزائر

Ecole Nationale Supérieure Agronomique El Harrach – Alger

## Thèse

En vue de l'obtention du Diplôme de Doctorat LMD 3<sup>ème</sup> cycle.

## Thème

**Analyse des performances techniques et agronomique des TCS.  
Conséquences sur la production céréalière en Algérie.**

Présenté par : ECHCHERKI SMAIN

Devant le jury :

**Président : MOHAMMEDI Zekari** Maître de Conférences « A » (ENSA – El Harrach)

**Directeur de thèse : FEDDAL Mohamed Amine** Professeur (ENSA – El Harrach)

**Examineurs :**

**HOUARI Khemissi** Maître de Conférences « A » – Université M'Hamed Bougara Boumerdès

**TAIBI Sabrina** Maître de Conférences « A » (ENSA – El Harrach)

**LABAD Ryma** Maître de conférences classe « A » (ENSA – El Harrach)

Année universitaire : 2022/2023

## REMERCIEMENTS

**Je remercie Allah, le miséricordieux de m’avoir aidé à réaliser ce travail**

Je tiens à remercier en quelques lignes tous ceux qui, de près ou de loin ont contribué à ce travail.

Mes remerciements vont tout d’abord à ma famille et tous mes proches qui m’ont toujours aidé et soutenu dans mes choix. Notamment mes parents, mon frère et mes sœurs.

Je remercie ma famille de m’avoir offert la possibilité d’arriver jusqu’ici par leurs compréhensions et leurs soutient moral et financier.

Ce travail est signé de mon nom mais il est le fruit de diverses collaborations. En premier lieu,

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

Je tiens à remercier Monsieur **MOHAMMEDI ZEKARI** Maître de Conférences classe « A » à l’ENSA pour ses encouragements, son soutien et pour m’avoir fait l’honneur de présider le jury.

Je remercie aussi **HOUARI Khemissi** Maitre de conférences classe « A » à l’Université M’Hamed Bougara Boumerdès, de m’avoir fait l’honneur d’accepter être membre du jury.

Je prie à Madame **TAIBI Sabrina** Maître de Conférences classe « A » à l’Université de Blida1 de trouver, ici, l’expression de ma considération et de ma sympathie pour avoir accepté d’être membre du jury.

Je remercie Madame, **LABAD Ryma** Maitre de conférences classe « A » à l’ENSA de m’avoir fait l’honneur d’accepter être membre du jury.

Merci pour tous mes amis et collègues particulièrement ; **MEBAKRI Mohammed nadhir, YACHI Abdelouahid ; MEHARZI Mohammed Amine et BOUAICHA Oussama** pour leurs soutiens et encouragements.

Mes vifs remerciements s’adressent aussi pour toute l’équipe de **l’ITGC et ITMAS de Sétif** pour avoir mis à notre disposition tous les moyens nécessaires pour mener à bien cette expérimentation.

En fin, je remercie tous mes enseignants du département de Génie Rural et de la section Machinisme agricole précisément d'avoir participé à ma formation.

Après avoir présenté mes chaleureux remerciements à toutes ces personnes, il est l'heure de rendre hommage aux personnes chers qui sont parti dans l'au-delà, je dédie ce travail à la mémoire de mes chers enseignants **AMARA M.** et **Kheyar M.O**, que Dieu les accueille dans son vaste paradis.

Merci à tous.

***ECHCHERKI SMAIN***

## *Dédicaces*

*Je dédie ce travail à :*

*À mes parents, pour leur amour et leur encouragement  
qu'ils trouvent le témoignage de ma profonde affection et  
gratitude.*

*A mon cher frère Sidali. Aucune dédicace ne saurait exprimer  
l'amour, L'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu  
pour toi.*

*A mes sœurs Zola et Chaïma Vous avez toujours été présents  
pour les bons conseils. Votre affection et votre soutien m'ont été  
d'un grand secours au long de ma vie professionnelle et  
personnelle.*

*A ma grande famille, du grand au petit surtout,*

*Le petit Mizzo. et Mina*

*À tous mes amis : Amine Kama, Badou,  
meharzi, Monira, Nesrine Hadji, Hamza, Nono, Oussama,*

# *Janko*

## Résumé

Les grandes cultures, notamment les céréales, les légumineuses alimentaires, les fourrages et les oléagineux sont des produits alimentaires de première nécessité dans l'agriculture algérienne. Ce travail, qui rentre dans le cadre d'un programme de recherche sur la problématique de l'introduction des techniques culturales simplifiées en Algérie porte sur une analyse de l'effet de quatre techniques culturales, pour la mise en place d'une céréale, sur les propriétés physiques du sol et les conséquences sur le développement des racines ainsi que sur le rendement d'un blé dur et du lentille.

L'expérimentation s'est déroulée dans la région semi-aride dans la Station Expérimentale de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) de Sétif durant la campagne 2018/2019. L'objectif de cette thèse est d'analyser les performances de ce semoir innovant "BOUDOUR", en le comparant avec trois autres semoirs classiques et de semis direct, pour la mise en place de deux cultures le blé dur (*Triticum durum*) et lentille (*Lens Culinaris*). A ce sujet plusieurs variables liées à la culture ont été étudiées et analysées statistiquement.

Les résultats obtenus affirment que les outils aratoires par leur passage ont eu un effet diminutif sur l'humidité du sol, la porosité, et la résistance pénétrométrique sur les quatre horizons, ce constat est valable pour le travail conventionnel et le travail minimum du sol, ainsi que les valeurs de la porosité du sol pour les 04 techniques, quatre horizons ne dépassent pas la moyenne de 60%, ce qui est normal pour un sol agricole qui possède une porosité entre 30 et 60 %. Les quatre techniques présentent les mêmes tendances de Résistance pénétrométrique (Rp) du premier au dernier stade et les valeurs sont très rapprochées entre Semis Direct Boudour et Semis Direct John Shearer.

Les résultats des analyses statistiques montrent des différences significatives entre les modalités de travail du sol pour la plupart des caractères étudiés. Et Peu de différences apparaissent entre les trois systèmes pour le rendement en grain. Les meilleurs rendements de blé sont observés en technique conventionnelle avec 42 qx/h, tandis que la plus faible valeur de rendement est observée en Semis Direct John Shearer avec 16 qx/ha.

Les résultats relatifs la croissance de la lentille indiquent que le travail minimum du sol a permis d'obtenir le meilleur le nombre de ramifications avec le travail conventionnel, le plus important nombre de nodules, le nombre de gousses par plant le plus élevé, les tiges les plus hautes. Alors que le semis direct a permis un meilleur nombre de grains par gousse

Le rendement est plus élevé est enregistré en semis direct à dent avec une moyenne de 11.65qx/ha, suivi par la technique conventionnelle avec 9.85 qx/ha. Le faible rendement de lentille est obtenu par la technique culturelle simplifiée avec 6.35qx/ha.

**Mots clés :** Semis direct Boudour, TCS, TC, propriétés du sol, racines, rendement, blé dur, lentille.

## Summary

Field crops, including cereals, pulses, fodder and oilseeds are food products of primary importance in Algerian agriculture. This work, which is part of a research program on the problem of the introduction of the Simplified Cultivation Techniques in Algeria, deals with an analysis of the effect of four tillage techniques, for the establishment of a cereal, on the physical properties of the soil and the consequences on the development of the roots as well as on the yield of a durum wheat and lentil

The experiment took place in the semi-arid region in the Experimental Station of the Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) in Sétif during the 2018/2019 campaign. The objective of this tea is to analyze the performance of this innovative seed drill "BOUDOUR", comparing it with three other conventional seed drills and direct seeding, for the implantation of two crops: durum wheat (*Triticum durum*) and lentil (*Lens Culinaris*). In this regard, several crop-related variables were studied and statistically analyzed.

The results obtained affirm that the agricultural tools by their passage had a decreasing effect on the humidity of the soil, the porosity, and the penetrometric resistance on the four horizons, this observation is valid for the conventional tillage and the minimum tillage, as well as the values of the porosity of the soil for the 04 technics, four horizons do not exceed the average of 60%, which is normal for an soil that has a porosity between 30 and 60%. The four techniques show the same trends of penetrometric resistance ( $R_p$ ) from the first to the last stage and the values are very close between Direct Seeding Boudour and Direct Seeding John Shearer.

The results of the statistical analyses show significant differences between the tillage systems for most of the traits studied. And few differences appear between the four systems for grain yield. The best wheat yields were observed in the conventional technique with 42 quintals/hectare, while the lowest yield value was observed in the John Shearer no-till system with 16 quintals/ hectare.

Results for lentil growth indicate that minimum tillage resulted in the highest number of branches with conventional tillage, the highest number of nodules, the highest number of pods per plant, the tallest stems. While no-till resulted in a higher number of grains per pod.

The highest yield is recorded in direct seeding with tines with an average of 11.65qx/ha, followed by the conventional tillage with 9.85 quintals per hectare. The low yield of lentil is obtained by the simplified tillage with 6.35qx/ha.

**Keywords:** Boudour direct seeding, Simplified tillage, conventional tillage, soil properties, roots, yield, durum wheat, lentil.

## الملخص

تعتبر المحاصيل الحقلية، ولا سيما الحبوب والبقوليات الغذائية والأعلاف والبذور الزيتية من المنتجات الغذائية الأساسية في الزراعة الجزائرية. يركز هذا العمل، الذي يندرج في إطار برنامج بحثي حول مشكلة إدخال تقنيات الزراعة المبسطة الى الجزائر، على تحليل تأثير تقنيات الزراعة الأربعة لزراعة الحبوب، على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للتربة وعواقب ذلك على نمو الجذور وكذلك على محصول القمح الصلب والعدس.

تم إجراء التجربة في المنطقة شبه الجافة في المحطة التجريبية للمعهد التقني لزراعات الكبرى بسطيف خلال السنة 2019/2018. الهدف من هذا هو تحليل أداء آلة البذر المبتكرة "بودور"، ومقارنته بثلاثة آلات كلاسيكية وأخرى للبذر المباشر، لزراعة ومراقبة محصولي القمح الصلب (*triticum durum*) والعدس (*Lens culinaris*). تمت دراسة العديد من المتغيرات المتعلقة بتطور المحصولين وتحليلها إحصائياً

تؤكد النتائج التي تم الحصول عليها أن الأدوات الزراعية بمرورها كان لها تأثير متناقض على رطوبة التربة والمسامية ومقاومة اختراق التربة في الطبقات الأربعة، وهذا الناتج صالح للزراعة التقليدية والحد الأدنى من أعمال التربة، وكذلك قيم مسامية التربة بالنسبة للتقنيات الأربعة لا تتعدى معدل 60٪، وهو أمر طبيعي للتربة الزراعية التي تتراوح مساميتها بين 30 و60٪. جميع التقنيات الأربعة لها نفس اتجاهات مقاومة الاختراق من المرحلة الأولى إلى المرحلة الأخيرة والقيم متقاربة جداً بين والبذر المباشر بوجون شيرار.

كما أظهرت نتائج التحليلات الإحصائية وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين طرق الحرث لمعظم الصفات المدروسة. وتظهر اختلافات قليلة بين الأنظمة الأربعة لمحصول الحبوب. تمت ملاحظة أفضل محاصيل القمح باستخدام التقنية التقليدية بمعدل 42 قنطار / هكتار بينما لوحظ أقل قيمة محصول في البذر المباشر بوجون شيرار مع 16 قنطار / هكتار.

تشير النتائج النسبية لنمو العدس إلى أن الحد الأدنى للحرارة جعل من الممكن الحصول على أفضل عدد من الفروع ذات الحرث التقليدي، وأكبر عدد من العقيدات، وأعلى عدد من القرون لكل نبات، وأطول السيقان. بينما سمح البذر المباشر بعدد أفضل من البذور لكل قرنة، كما تم تسجيل أعلى محصول في البذر المباشر بوجون بمتوسط 11.65 قنطار لكل هكتار، تليها التقنية التقليدية مع 9.85 قنطار للهكتار. يتم الحصول على محصول العدس المنخفض عن طريق الحرارة المبسطة بمعدل 6.35 قنطار للهكتار.

**الكلمات المفتاحية:** البذر المباشر بوجون، تقنية الزراعة المبسطة، الحرارة التقليدية، خواص التربة، الجذور، المحصول، القمح الصلب، العدس.

## Table des matières

<b>REMERCIEMENTS</b> .....	
<i>Dédicaces</i> .....	
Résumé .....	
Summary .....	
المخلص	
<b>Table des matières</b> .....	
<b>Liste des figures :</b> .....	
<b>Liste des tableaux :</b> .....	
<b>Liste des abreviations :</b> .....	
<b>Introduction générale</b> .....	1
<b>Chapitre 01 : Problématique de la céréaliculture et cultures légumineuses en Algérie</b> .....	6
<b>Introduction</b> .....	6
<b>1.1. Importance des céréales et légumineuses dans l'agriculture algérienne</b> .....	6
<b>1.1.1. Importance des céréales dans l'agriculture algérienne</b> .....	6
<b>1.1.2. Importance des légumineuses dans l'agriculture algérienne</b> .....	7
<b>1.2. Zones de production des légumineuses et céréales en Algérie</b> .....	7
<b>1.2.1. Zones de production céréalières en Algérie</b> .....	7
<b>a) Zone potentielle :</b> .....	8
<b>b) Zone intermédiaire :</b> .....	8
<b>c) Zone steppique :</b> .....	8
<b>d) Zone saharienne ou sud</b> .....	8
<b>1.2.2. Zones de production des légumineuses en Algérie</b> .....	8
<b>1.3. Exigences Agronomiques du blé</b> .....	9
<b>a) Exigences édaphiques</b> .....	9

b)	<b>Exigences en eau</b> .....	9
c)	<b>Lumière</b> .....	10
d)	<b>Température</b> .....	10
1.4.	<b>Exigences agronomiques des lentille</b> .....	10
1.5.	<b>Rotation céréales -légumineuses</b> .....	11
1.6.	<b>Situation de la production du blé en Algérie</b> .....	12
1.7.	<b>Situation de la production des lentille en Algérie</b> .....	13
1.8.	<b>Problèmes liés à la production du blé et lentille en Algérie</b> .....	13
	<b>Conclusion</b> .....	15
	<b>Chapitre 2 : Présentation et objectifs des techniques de travail du sol</b> .....	16
	<b>Introduction</b> .....	16
2.1	<b>Présentation des techniques de préparation du sol</b> .....	16
2.1.1	<b>Les techniques de travail du sol profond</b> .....	17
a)	<b>Labour</b> .....	17
b)	<b>Décompactage</b> .....	17
c)	<b>Sous-solage</b> .....	17
2.1.2	<b>Les techniques culturales superficielles</b> .....	18
a)	<b>Pseudo labour</b> .....	18
b)	<b>Travail minimum</b> .....	19
2.1.3	<b>Semis direct</b> .....	19
2.1.3.1	<b>Le semis direct et ses variantes</b> .....	19
a)	<b>Semis direct sans travail du sol (no-till):</b> .....	20
b)	<b>Semi direct avec travail du sol en bandes lors du semis (strip-till)</b> .....	20
c)	<b>Semis direct avec travail du sol (Billonnage) (ridge-till)</b> .....	20
2.2	<b>Présentation des outils aratoires</b> .....	20

a)	Matériel de travail du sol primaire .....	20
b)	Matériel de travail du sol secondaire.....	20
2.3	Mode d'action des pièces travaillantes des outils aratoires.....	21
a)	<b>Charrue à soc</b> .....	21
b)	<b>Cover-crop</b> .....	21
c)	<b>Chisel</b> .....	22
2.4	Développement des techniques culturales simplifiées .....	22
<b>2.4.1</b>	<b>Matériel de semis direct</b> .....	22
a)	<b>Semoir herbager Aitchison</b> .....	23
b)	<b>Semoir SEMEATO SHM 13 :</b> .....	24
c)	<b>Semoir SEMEATO SHM 30 :</b> .....	25
d)	<b>Semoir de semis direct SEMEATO PD 17</b> .....	26
e)	<b>Semoir des ETS REFOUFI (SÉTIF) :</b> .....	27
f)	<b>Semoir « BOUDOIR » de CMA-SOLA :</b> .....	28
g)	<b>Semoir CONNOR SHEA:</b> .....	29
h)	<b>Semoir JOHN SHEARER:</b> .....	30
i)	<b>Semoir SULKY TRAMLIN CE</b> .....	31
	<b>Conclusion</b> .....	33
Chapitre 3 : Impact des techniques de travail du sol sur les propriétés du sol et conséquences sur le		
l'enracinement .....		
	<b>Introduction</b> .....	34
3.1	Effet des techniques de travail du sol sur la conservation de l'eau dans le sol.....	34
3.1.1	Zéro travail du sol.....	34
3.1.2	Travail minimum du sol .....	37
3.1.3	Travail du sol conventionnel .....	38

3.2	Effet sur la masse volumique et résistance pénétrométrique .....	38
3.3	Impact des techniques de travail du sol sur l'enracinement du blé et lentille.....	40
<b>3.3.1</b>	<b>Influence des propriétés du sol sur l'enracinement .....</b>	<b>40</b>
3.4	Impact des techniques de travail du sol sur les rendements du blé et lentille .....	42
<b>3.4.1</b>	<b>Influence de l'enracinement sur le rendement .....</b>	<b>42</b>
	<b>Conclusion à la bibliographie.....</b>	<b>43</b>
	<b>Introduction à l'expérimentation .....</b>	<b>44</b>
	Chapitre 04 : Analyse de l'effet de quatre techniques de travail du sol sur le comportement physico-mécanique du sol et conséquences sur le développement de deux cultures (blé dur et lentille), dans une zone semi-aride. ....	45
3.1	Présentation du site expérimental .....	45
3.1.1	Situation géographique.....	45
3.1.2	Présentation des conditions climatiques de l'essai .....	45
3.1.3	Caractéristiques pédologiques des parcelles d'essais.....	47
3.2.	Matériel et méthodes.....	49
3.2.1.	Présentation du protocole expérimental.....	49
3.2.1.1.	Le dispositif expérimental.....	49
<b>3.2.1.2.</b>	<b>Les techniques de travail du sol étudiées .....</b>	<b>50</b>
<b>a)</b>	<b>Travail conventionnel.....</b>	<b>50</b>
<b>b)</b>	<b>Travail réduit du sol ou Travail Minimum (TM) .....</b>	<b>51</b>
<b>c)</b>	<b>Semis direct.....</b>	<b>54</b>
	A dent :.....	54
	A disque : .....	54
3.2.1.3.	Mise en place de culture.....	56
3.2.1.4.	Fertilisation .....	57
3.2.1.5.	Désherbage.....	57

3.2.2. Méthodologie expérimentale.....	59
3.2.2.1 Mesures des propriétés physico-mécaniques du sol .....	59
a) <b>Déterminations de masse volumique du grain solide (masse volumique réelle)</b> .....	59
b) <b>Mesure de la densité apparente du sol ou masse volumique</b> .....	60
c) <b>Mesure de la résistance pénétrométrique du sol</b> .....	61
<b>Résultats de tarage du pénétromètre</b> .....	62
3.2.2.2 Mesure de l'humidité du sol.....	63
a. Méthode de prélèvement.....	63
b. Méthode d'analyse .....	63
3.2.2.3 Méthodologie de mesures relatives aux cultures .....	64
a) La densité racinaire .....	64
3.2.2.4 Les mesures relative à la culture du blé dur .....	64
a) Peuplement à la levée .....	64
b) Tallage .....	64
c) Nombre d'épis par mètre carré .....	65
d) Nombre de grains par épi .....	65
e) Poids de mille grains : .....	65
f) Rendement en grain estimé (q/ha).....	65
g) Rendement en biomasse fraîche (qx/ha) .....	65
h) Rendement en paille (t/ha) .....	65
i) Rendement en grain réel (qx/ha) .....	65
j) Indice de récolte .....	66
3.2.2.5 Mesures relatives à la culture des lentille .....	66
a) Nombre de pieds levés /m <sup>2</sup> .....	66
b) Nombre de ramification.....	66

c)	Nombre des fleurs .....	66
d)	Nombre de gousses/plante.....	66
e)	Nombre de grains par gousse .....	66
f)	Nombre des nodules .....	66
g)	Rendement réel en grains (q/ ha).....	67
3.2.2.6	Méthodes de traitement des données .....	67
3.3.	Résultats et discussion .....	68
3.3.1.	Effet des techniques culturales sur l'humidité du sol .....	68
a)	Pour l'horizon P1 (0-5cm) .....	68
b)	Pour l'horizon P2 (5-15 cm) .....	69
c)	Pour l'horizon P3 (15-20 cm) .....	69
d)	Pour l'horizon P4 (20-25 cm) .....	70
3.3.2.	Effet des techniques culturales sur la porosité du sol .....	74
3.3.2.1.	Cas du blé :.....	74
3.3.2.2.	Cas de la lentille :.....	78
3.3.3.	Effet des techniques culturales sur la resistance penetrometrique.....	82
3.3.3.1.	Cas du blé :.....	82
3.3.3.2.	Cas de la lentille :.....	85
3.3.4.	Effet des techniques culturales sur l'enracinement du blé dur.....	86
a)	Densité racinaire .....	86
b)	Diamètre des racines .....	88
c)	Elongation racinaire .....	89
3.3.5.	Analyse de l'effet des techniques culturales sur paramètres caractéristiques des cultures.....	91
3.3.5.1	Effet des techniques culturales sur la levée de cultures .....	91
a)	Cas du blé dur .....	92
b)	Cas de la lentille.....	94
3.3.5.2.	Effet des techniques sur le comportement des deux cultures mises en place .....	95

3.3.5.2.1. Cas du blé dur .....	95
a) Nombre de Talles/m <sup>2</sup> .....	95
b) Nombre d'épis par mètre carré.....	96
c) Nombre de grains par épi .....	96
d) Rendement des paille t/h .....	98
e) Longueur des épis de blé (mm).....	99
f) Poids de mille grains PMG .....	100
g) Rendement en grain estimé (q/ha) .....	100
h) Rendement en biomasse (t/ha) .....	101
i) Indice de récolte .....	102
j) Analyse des corrélations entre les différents paramètres étudiés.....	103
3.3.5.2.2. Cas de la lentille.....	104
a) Nombre des ramifications .....	104
b) Nombre des fleurs .....	106
c) Nombre des nodules.....	107
d) Nombre des nodules inactifs .....	109
e) Nombre des nodules actifs .....	110
f) Nombre des gousses par plante.....	111
g) Nombre des grains/gousse .....	112
h) Hauteur finale de la tige en cm .....	113
i) Biomasse de récolte de la lentille.....	114
j) Rendement en grain estimé (g/m <sup>2</sup> ).....	115
Chapitre 05 : Impact de la succession des outils aratoires sur le comportement physico-mécanique du sol et conséquences sur l'enracinement du blé dur dans la Mitidja.....	117
Conclusion générale.....	126
Reference bibliographie :.....	131

## Liste des figures :

Figure 1: Zones d'aptitude de la culture de la lentille en Algérie (ITGC, 2013). .....	9
Figure 2: Evolution de la production du blé entre 1961 et 2020.....	12
Figure 3: Evolution de la production des lentille entre 1961 et 2020. ....	13
Figure 4 : semoir de semis direct herbager Aitchison .....	24
Figure 5:Le semoir SEMEATO SHM 13 .....	25
Figure 6: semoir de semis direct SEMEATO PD 17 .....	26
Figure 7: Semoir de semis direct Ets Refoufi ITGC Setif.....	28
Figure 8: Semoir « BOUDOOR » de CMA-SOLA.(ITGC SETIF).....	29
Figure 9: semoir CONNOR SHEA .....	29
Figure 10: semoir SD john sheater à dent (ITGC SETIF).....	31
Figure 11: semoir SD john sheater à disque (ITGC SETIF) .....	31
Figure 12: semoir SD SULKY ITGC oued smar. ....	32
Figure 13: Localisation de la zone d'étude .....	45
Figure 14 : Climatogramme de la campagne d'essai        source : echcherki 2019 .....	47
Figure 15 : Les propriétés chimiques du sol sur le système SIDDRA. ....	49
Figure 16: le dispositif expérimental adopté .....	50
Figure 17 : chaine d'outils de technique conventionnelle.....	51
Figure 18 : Chaine d'outils du TM .....	51
Figure 19 : semoir a dent SOLA.Boudor .....	54
<b>Figure 20:</b> semoir a disque JONH SHEARER.....	55
<b>Figure 21 :</b> Tracteur JOHN DEERE 5090M .....	55
<b>Figure 22:</b> Pulvérisateur à jet projeté. ....	58
<b>Figure 23:</b> Les opérations agronomiques en fonction de stade phénologique de blé. ....	59

<b>Figure 24:</b> Méthode de prélèvement du sol et de calcul de la densité apparente du sol .....	60
<b>Figure 25:</b> Pénétrromètre utilisé .....	61
<b>Figure 26:</b> courbe de tarage du pénétrromètre.....	62
<b>Figure 27:</b> Mesure de l'humidité de sol .....	64
Figure 28: Variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur P1 durant les stades végétatives en fonction des techniques culturales.....	68
Figure 29: Variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur P2 durant les stades végétatives en fonction des techniques culturales.....	69
Figure 30 : Variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur P3 durant les stades végétatifs en fonction des techniques culturales. ....	69
Figure 31: Variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur P4 durant les stades végétatifs en fonction des techniques culturales. ....	70
<b>Figure 32:</b> variation de la porosité totale du sol durant les stades de développement du blé dur pour les techniques culturales au niveau de l'horizon P1. ....	74
<b>Figure 33:</b> variation de la porosité totale du sol durant les stades de développement du blé dur pour les techniques culturales au niveau de l'horizon P2. ....	75
<b>Figure 34:</b> variation de la porosité totale du sol durant les stades de développement du blé dur pour les techniques culturales au niveau de l'horizon P3. ....	75
<b>Figure 35:</b> variation de la porosité totale du sol durant les stades de développement du blé dur pour les techniques culturales au niveau de l'horizon P4. ....	76
<b>Figure 36:</b> variation de la porosité totale du sol durant les stades de développement de la culture de la lentille pour les techniques culturales au niveau de l'horizon P1 .....	78
<b>Figure 37:</b> variation de la porosité totale du sol durant les stades de développement de la culture de la lentille pour les techniques culturales au niveau de l'horizon P2. ....	79
<b>Figure 38:</b> variation de la porosité totale du sol durant les stades de développement de la culture de la lentille pour les techniques culturales au niveau de l'horizon P3 .....	79
<b>Figure 39:</b> variation de la porosité totale du sol durant les stades de développement de la culture de la lentille pour les techniques culturales au niveau de l'horizon P4 .....	80

<b>Figure 40:</b> Variation de la résistance pénétrométrique du sol en fonction de la technique durant le cycle de développement de blé dur. ....	82
<b>Figure 41:</b> Variation de la résistance pénétrométrique du sol en fonction de la technique et la profondeur durant le stade remplissage- maturité du blé dur. ....	83
<b>Figure 42:</b> Variation de la résistance pénétrométrique du sol en fonction de la technique durant le cycle de développement de la lentille. ....	85
<b>Figure 43:</b> variation de la densité racinaire de la culture du blé dur en fonction de la technique au stade épiaison et remplissage des grains. ....	87
<b>Figure 44:</b> variation de le diamètre racinaire de la culture du blé dur en fonction de la technique au stade épiaison et remplissage des grains. ....	88
<b>Figure 45:</b> variation de la l'élongation racinaire de la culture du blé dur en fonction de la technique au stade épiaison et remplissage des grains. ....	89
<b>Figure 46:</b> Nombre de pieds levés par mètre carré par traitement. ....	92
<b>Figure 47:</b> Nombre de pieds levés par mètre carré. ....	94
Figure 48: Nombres des talles de blé. ....	95
<b>Figure 49:</b> Nombre d'épis par mètre carré en fonction de technique culturale. ....	96
<b>Figure 50:</b> Nombre des grains par épi pour toutes les parcelles étudiées. ....	97
<b>Figure 51:</b> Rendement des paille t/h. ....	98
<b>Figure 52:</b> Longueur d'épi en (mm). ....	99
Figure 53: Poids de mille grains en (g). ....	100
<b>Figure 54:</b> Rendement en grain estimé (q/ha). ....	101
Figure 55: Rendement en biomasse en t/ha par traitement. ....	102
<b>Figure 56:</b> Indice de récolte. ....	103
Figure 57 : diagramme de Kiviat pour le rendement de blé dur et ses composants. ....	104
<b>Figure 58:</b> Nombre des ramifications. ....	105
<b>Figure 59:</b> Nombre des fleurs par plante. ....	106

Figure 60: Nombre des nodules. ....	107
<b>Figure 61:</b> la méthode de détermination du nombre des nodules par plante.....	108
Figure 62: Nombre des nodules inactifs.....	109
<b>Figure 63:</b> Nombre des nodules actifs.....	110
<b>Figure 64:</b> Nombre de gousses par plante. ....	111
<b>Figure 65:</b> Nombre des grains/gousse. ....	112
<b>Figure 66:</b> Longueur finale des plantes. ....	113
<b>Figure 67:</b> Biomasse de récolte de la lentille. ....	115
<b>Figure 68:</b> Rendement en grain estimé de la lentille (g/m <sup>2</sup> ).....	115
<b>Figure 69 :</b> diagramme de Kiviat pour le rendement de la lentille et ses composants. ....	116

## Liste des tableaux :

Tableau 1 :Caractéristiques du semoir Aitchison.....	23
Tableau 2 :Caractéristiques du semoir sont les suivantes : .....	25
Tableau 3: Caractéristiques technique de semoir direct SEMEATO SHM 30 : .....	25
Tableau 4 : Caracteristique du Semoir de semis direct SEMEATO PD 17. ....	26
Tableau 5: Caracteristique du semoir CONNOR SHEA : .....	30
Tableau 6 : Caracteristique du semoir SULKY TRAMLIN CE : .....	32
Tableau 7: La pluviométrie mensuelle (mm) de la campagne 2019/2020. ....	46
Tableau 8: Relevé des températures mensuelles enregistrées durant la campagne agricole 2019-2020 dans la station expérimentale de l'ITGC de Sétif. ....	46
<b>Tableau 9</b> : Caractéristiques physico-chimiques du sol d'étude. ....	47
<b>Tableau 10</b> : Caractéristiques de la variété de blé.....	56
<b>Tableau 11</b> : Caractéristiques de la variété <i>Syrie 229</i> .....	57
<b>Tableau 12</b> : Dose et date de fertilisation.....	57
<b>Tableau 13</b> : Date et dose de désherbage .....	58
Tableau 14: Résultats de tarage du pénétromètre.....	62
Tableau 15 : Date des prélèvements pour les deux cultures .....	70
Tableau 16: L'analyse statistique de l'effet des techniques culturales sur l'humidité du sol en fonction de profondeur et stade de développement de blé dur.....	71
Tableau 17: Analyse statistique de l'effet des techniques culturales sur l'humidité du sol en fonction de profondeur et stade de développement de la lentille. ....	72
Tableau 18: Analyse statistique (analyse de la variance bilatéral) de l'effet des techniques culturales sur la porosité du sol en fonction de profondeur et stade de développement du blé dur.....	76

Tableau 19: Analyse statistique (analyse de la variance bilatéral) de l'effet des techniques culturales sur la porosité du sol en fonction de profondeur et stade de développement de la lentille.....	80
Tableau 20: Analyse statistique (analyse de la variance bilatéral) d'effet des techniques culturales sur RP durant le cycle de blé dur. ....	83
Tableau 21 : Analyse statistique (analyse de la variance bilatéral) d'effet des techniques culturales sur RP durant le cycle de la culture de la lentille. ....	85
Tableau 22: Analyse statistique (test de student) de l'effet des techniques culturales sur la densité racinaire dans le stade épiaison et remplissage du blé dur.....	87
Tableau 23: Analyse statistique(test de student) de l'effet des techniques culturales sur le diamètre racinaire dans le stade épiaison et remplissage du blé dur. ....	88
Tableau 24: Analyse statistique (test de student) de l'effet des techniques culturales sur l'élongation racinaire dans le stade épiaison et remplissage du blé dur.....	90
Tableau 25: Test de Kruskal-Wallis sur les pieds de levé de blé. ....	93
Tableau 26: Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Steel-Dwass-Critchlow-Fligner / Test bilatéral sur les pieds de levé de blé. ....	93
Tableau 27: Test de Kruskal-Wallis sur nombre de grains/épi du blé dur. ....	97
Tableau 28: Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Steel-Dwass-Critchlow-Fligner / Test bilatéral sur nombre de grains/épi du blé dur. ....	97
Tableau 29: Test de Kruskal-Wallis sur ramification des lentille. ....	105
Tableau 30 : Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Steel-Dwass-Critchlow-Fligner / Test bilatéral sur ramification de la lentille.....	105
Tableau 31: Test de Kruskal-Wallis sur la floraison de la lentille. ....	106
Tableau 32: Test de Kruskal-Wallis sur le nombre de nodules de la lentille. ....	108
Tableau 33: Test de Kruskal-Wallis sur le nombre de nodules inactifs de la lentille. ....	109
Tableau 34: Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Steel-Dwass-Critchlow-Fligner / Test bilatéral sur les nodules inactifs de la lentille.....	109

Tableau 35: Test de Kruskal-Wallis sur le nombre de nodules actifs de la lentille. ....	110
Tableau 36: Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Steel-Dwass-Critchlow-Fligner / Test bilatéral sur les nodules actifs des lentille. ....	111
Tableau 37: Test de Kruskal-Wallis sur le nombre de gousses/plant.....	112
Tableau 38: Test de Kruskal-Wallis sur le nombre grains/gousse. ....	113
Tableau 39: Test de Kruskal-Wallis sur la hauteur de la plante.....	113

## **Liste des abreviations :**

**CNCC** : Centre National de Contrôle et Certification des semences et plants

**CV** : cheval vaport

**da** : densité apparente

**dr** : densité réelle

**€** : euro

**ENSA** : école nationale supérieure agronome.

**FAO** : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'agriculture

**Gr/épi** : grains par épi

**ha** : hectare

**hab** : habitats

**INPV** : instutie nationale de protection des vegetaux

**ITGC** : Institut Technique des Grandes Cultures

**MADRP** : Ministère d'Agriculture et du Développement Rural et de la Pêche

**mm** : millimètre.

**MPa** : mégapascal.

**MO** : Matière Organique

**MO** : Matière Organique

**MT** : Millions Tonne

**n%** : porosité totale.

**NE** : Nombre d'Epis

**NGE** : Nombre de Grains par Epi

**NS** : non significatif

**OAIC** : Office algérien interprofessionnel des céréales

**ONM** : Office National de Météorologie

**PMG** : Poids de Mille Grain

**p-values** : probabilité values

**Qx** : Quintaux

**RE** : Rendement en grains Estimé

**S**: significative

**\$US**: dollar américain

**SAU** : Surface Agricole Utile

**SD** : Semis Direct

**THS** : très hautement significatif

**T max** : Température maximale

**T min** : Température minimale

**T moy** : Température moyenne

**TRE** : Teneur Relative en Eau

**SDD** : Semis Direct a Disque.

**SDT** : Semis Direct a Dent.

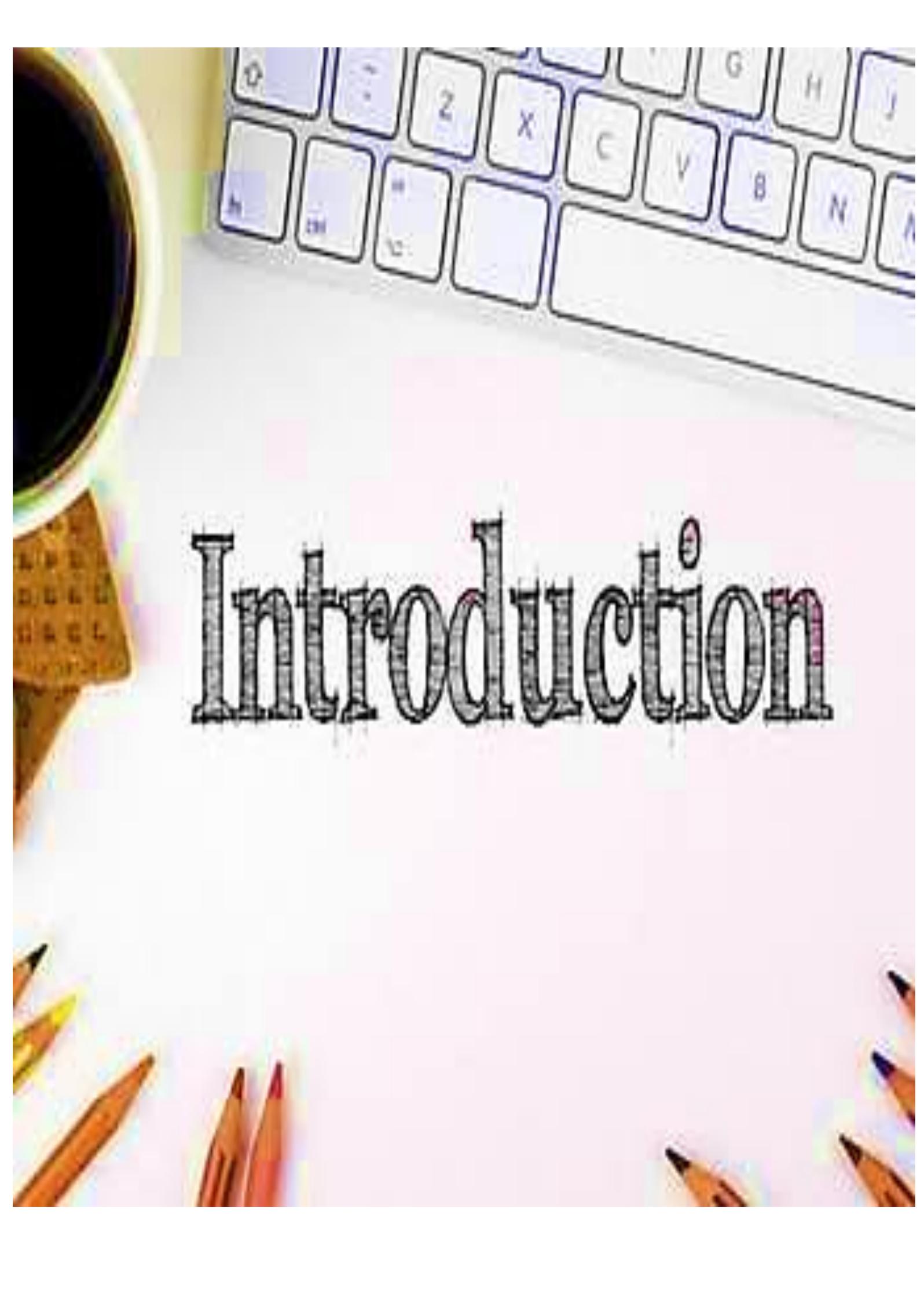
**TC** : Travail Conventionnel

**TCS** : Technique Culturelle Simplifié

**TCSL** : techniques culturelles sans labour

**U** : unité

**UE** : Union Européenne



# Introduction

## **Introduction générale**

Les grandes cultures, notamment les céréales, les légumineuses alimentaires, les fourrages et les oléagineux sont des produits alimentaires de première nécessité dans l'agriculture algérienne elles constituent la consommation de base qui est estimée à environ 228 kg par habitant et par an pour les céréales (Ait Abdallah-Djennadi *et al.*, 2010).

La production des céréales en Algérie est marquée par une forte irrégularité, elle-même conditionnée par les aléas climatiques. Ainsi, La production moyenne du blé des 5 dernières années (2016 à 2020), s'élève à 3 106 000 de tonnes sur une superficie moyenne récoltée de 1 800 444 ha, ce représente des rendements moyens de 17 qx/ha. Les quantités de céréales collectées au niveau de l'Office algérien interprofessionnel des céréales (OAIC) en 2021, ont atteint 13 millions de quintaux de blé tendre et dur. (MADR, 2022).

En dépit d'indéniables progrès, les rendements du blé et des lentille restent faibles et très irréguliers en Algérie. Le problème majeur qui menace cette céréaliculture reste la rareté et la diminution des ressources hydriques, suite à la sécheresse et à l'irrégularité des précipitations, (Benhalima, 2019). Ce problème est accentué par la défaillance des pratiques culturales utilisées par les agriculteurs, notamment celles liées au travail du sol, à la gestion des résidus de récolte et à celle des mauvaises herbes. Outre ceci, il serait intéressant de rappeler que la mise en place des grandes cultures est très exigeante en besoins énergétiques. (Echcherki *et al.*, 2022).

Fondamentalement, la préparation du sol d'une parcelle consiste à réaliser une ou plusieurs opérations culturales choisies dans un ensemble de techniques classées, par ordre de profondeur décroissant, en trois catégories : sous-solage, travail profond et travail superficiel. Ces opérations ne sont toutefois pas toutes indispensables. Ainsi par exemple, le sous-solage n'est pas pratiqué tous les ans, le labour est dans certains cas éliminé temporairement ou définitivement (Techniques culturales simplifiées (TCS) ou techniques sans labour - TSL) et l'on peut, à l'extrême, mettre en place une culture sans aucune préparation du sol (semis direct). Les décisions quant à l'opportunité de telle ou telle opération, le choix des dates d'intervention ou des outils à utiliser, dépendent d'une série de facteurs.

La pratique du labour avec une charrue à versoirs, reste encore aujourd'hui la technique de travail du sol la plus utilisée au monde (Pal *et al.*, 2018 ; Bentahar *et al.*, 2018 ; Shrestha *et al.*, 2018 ; Parlawar *et al.* 2017 et Yachi *et al.* 2021).

## **Introduction générale**

Pour favoriser la conservation de l'eau dans les systèmes agricoles des régions arides et semi-arides, les techniques de conservation du sol sont importantes, dans la mesure où elles peuvent contribuer à éviter la dégradation des sols par compactage (Fernandez-Ugalde *et al.*, 2009 ; Kuzucua *et al.*, 2015). Le travail minimum du sol avec des outils à dents et le zéro travail du sol avec des semoirs directs, ne retournent pas le sol et laissent des résidus de récolte en surface (Campos-Magaña *et al.*, 2015). Ces types de techniques diminuent l'intensité et la fréquence des perturbations du sol, par rapport au travail du sol conventionnel (Reicosky, 2015).

Dans certaines régions et dans des conditions pédoclimatiques, différentes méthodes de travail du sol ont montré une grande variabilité de résultats en ce qui concerne la densité apparente et la conductivité hydraulique du sol (Strudley, 2008 ; Blanco-Canqui, H. et Ruis, S.J, 2018).

Les résultats sur l'effet du travail du sol sur les propriétés physiques du sol, à ce jour, ont été plutôt ambigus et parfois contradictoires. Dans certains cas, en Amérique latine et en Espagne, l'absence de travail du sol entraîne des valeurs de densité apparente élevées en surface, de faibles taux d'infiltration et un rendement inférieur des cultures par rapport au travail du sol conventionnel (Alegre, 1991 ; Salem *et al.*, 2015). Dans une autre étude, la densité apparente, dans un sol limoneux d'une région semi-aride en Turquie, a augmenté de manière significative après 12 ans de non-labour (Gozubuyuk, 2014). D'autre part, un site expérimental sans travail du sol pendant neuf ans dans un sol limoneux en Chine a entraîné une diminution de la densité apparente et une augmentation significative de la capacité d'infiltration. Dans ce cas, l'amélioration des conditions physiques du sol était due à une augmentation de la formation de macro-agrégats, qui a été attribuée à une diminution de la perturbation du sol et à l'ajout de résidus de culture (Huang, 2015).

Le travail du sol conventionnel peut modifier considérablement les propriétés physiques du sol au cours d'une saison de croissance. Par exemple, une expérience en France avec un travail du sol conventionnel a montré que la densité apparente augmente de 15 à 20 % par rapport à sa valeur initiale au cours d'une saison de croissance du maïs. L'étude a également montré que la conductivité hydraulique diminuait de trois à six fois, selon la couche du sol, et était négativement corrélée avec la densité apparente (Alletto *et al.*, 2015). Dans le cas du non-labour, les modifications des propriétés du sol ne sont observées qu'après plusieurs années. Dans une étude d'un sol limoneux sableux avec une monoculture de maïs au Canada, sur une période de 11 ans, la densité apparente dans un système sans travail du sol n'a augmenté que de 10 % à une profondeur de 0 à 10 cm par rapport au travail du sol conventionnel (Dam *et al.*, 2005).

## **Introduction générale**

Reynolds et al., 2007 affirment qu'une densité apparente entre 1,4 et 1,6 g/cm<sup>3</sup> inhibait sévèrement la croissance des racines. Cependant, une forte densité racinaire de blé a été obtenue en Australie dans un sol limono-sableux compacté (1,5 g/cm<sup>3</sup>), plutôt que dans un sol meuble (1,1 g/cm<sup>3</sup>). Cela était dû à un meilleur contact entre le sol et les racines, et aussi, le diamètre des racines était plus important dans des conditions de densité apparente élevée (Tracy *et al.*, 2012). Dans une autre étude au Royaume-Uni, la croissance des racines des tomates était plus importante dans un sol limoneux argileux avec des densités apparentes élevées de 1,5 à 1,6 g/cm<sup>3</sup>, que dans des sols avec densités de 1,2 et 1,3 g/cm<sup>3</sup> (Tracy *et al.*, 2013)

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 (Feng *et al.*, 2011 ; He *et al.*, 2006), 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 XX<sup>ème</sup> 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).

En Algérie, les premiers essais en agriculture de conservation remontent à l'année 2004, plus précisément, après la tenue de deux rencontres méditerranéennes du semis direct à Tabarka en Tunisie (essai longue durée à la ferme de démonstration et de production de semences d'Oued Smar, Alger), et ce afin d'évaluer l'effet du mode de gestion du sol sur le comportement du blé et sur l'évolution de la structure du sol et la conservation en eau (Abdellaoui et Zaghouane *et al.*, 2011).

Une des contraintes à l'adoption de ce système par les agriculteurs algériens est la disponibilité et le coût élevé de semoirs spéciaux. Le semis direct consiste à mettre les graines directement dans le sol couvert par le résidu de la récolte précédente. Pour être rentable, cette technique doit être pratiquée dans des conditions favorables. Mais son succès dépend du semoir utilisé (Labad, 2021). Le rôle le plus important des semoirs est la précision d'enfouissement de la graine à travers le couvert végétal et assurer un bon contact semences-sol. En général, il existe deux types de semoirs qui diffèrent par éléments semeurs : disques ou dents. Le type de dents est utilisé sur des sols à haute résistance à la pénétration, mais cela entraîne souvent des problèmes de colmatage des équipements par les résidus. De plus, ce type est difficile à utiliser

## **Introduction générale**

sur des sols caillouteux avec de fortes densités racinaires. D'autre part, les éléments semeurs à disques ont une faible capacité de pénétration dans le sol, en particulier dans les sols argileux mais nécessitant une faible puissance de traction. En 2016, le Complexe des Machines Agricoles « CMA » de Sidi Bel Abbes (Algérie) a développé un prototype de semoir "BOUDOUR" sans labour qui répond aux besoins des agriculteurs algériens : puissance des tracteurs, prix bas et bonne qualité du travail.

L'objectif de cette thèse est d'analyser les performances de ce semoir innovant "BOUDOUR", en le comparant avec trois autres semoirs classiques et de semis direct, pour la mise en place de deux cultures le blé dur (*Triticum durum*) et lentille (*Lens Culinaris*).

Notre travail de recherche a un double enjeu :

- D'essayer de trouver la meilleure manière d'améliorer l'état structural du sol, avec les outils que la majorité des agriculteurs algériens dispose. Ainsi, nous savons que la quasi-totalité des agriculteurs dispose dans leurs exploitations d'un cover-crop, d'une charrue à disques ou d'une charrue à socs et parfois d'une herse et/ou d'un rouleau lisse ou croskill. Dans ce contexte, nous avons mis en place un essai à la station expérimentale de l'ENSA qui a pour objectif de suivre au cours de la première année d'application de différentes techniques de travail du sol (travail conventionnel, agronomique, et minimum) les mesures de densité apparente, de porosité, du taux de saturation de cette dernière, d'humidité, de résistances pénétrométrique, et d'enracinement du blé dur ainsi que son rendement.

- De comparer quatre 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 légumineuse dans une zone semis aride à Setif.

:

Ce qui nous amène aux questions de recherche suivants :

***Y a-t-il un effet de l'action successive des outils aratoires sur les propriétés physiques et mécaniques du sol ?***

# **Introduction générale**

*Quel est l'impact de l'utilisation du semoir "BOUDOUR" sur la modification des propriétés physico-mécaniques du sol ? Y aura-t-il un effet sur l'enracinement du blé dur ?*

*Quelle sont les conséquences de l'utilisation de ces semoirs sur le rendement du blé dur et lentille ?*

## **Organisation de la thèse**

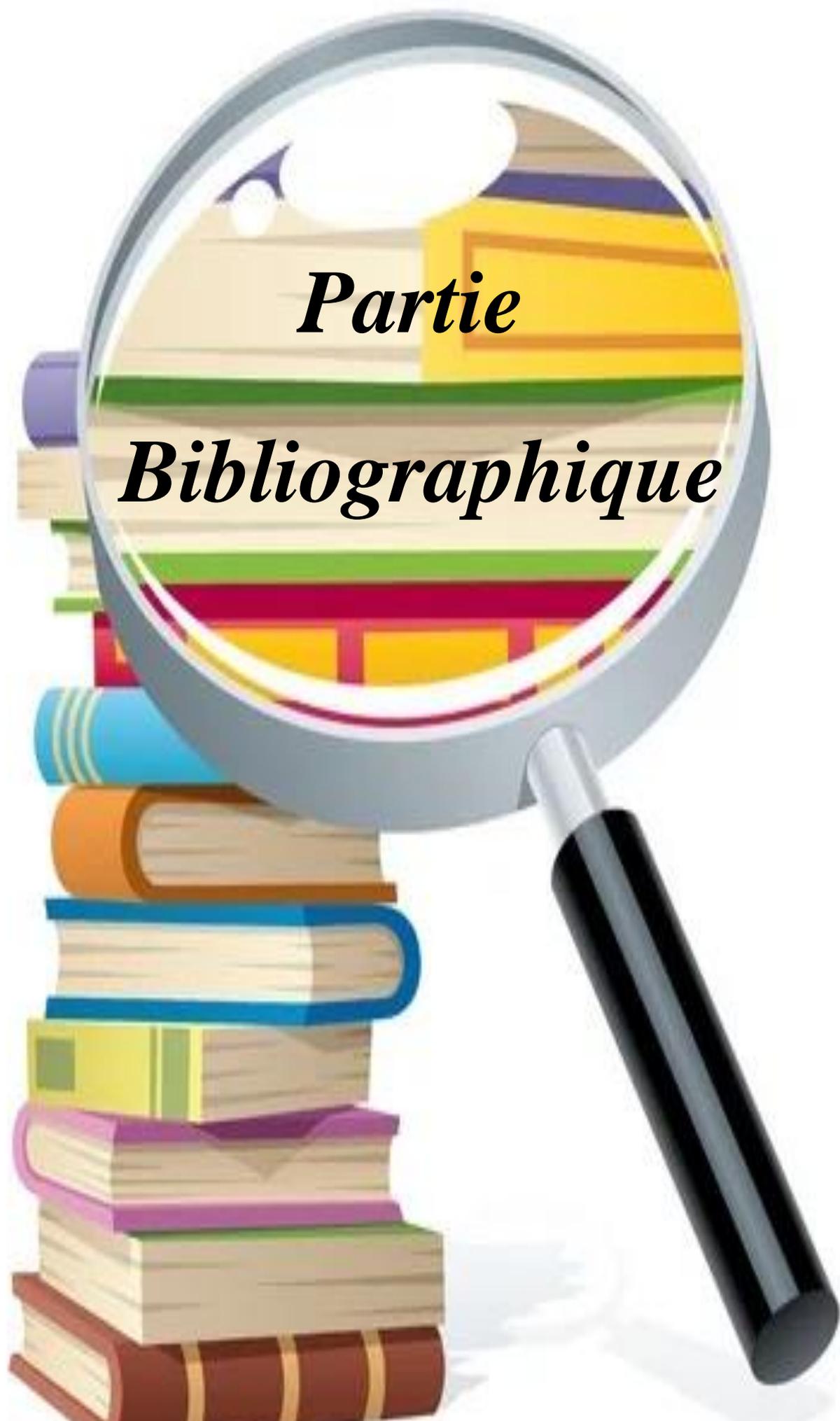
Cette thèse s'organise autour de cinq chapitres. Les chapitres 1,2, et 3 sont une analyse bibliographique centrée sur la problématique de la production céréalière en Algérie, les objectifs et l'importance des techniques de préparation du sol, leurs effets pédologiques, et l'impact de l'état structural du sol sur le développement racinaire des plantes.

La partie expérimentale s'articule autour de deux chapitres :

Le chapitre 4 a porté sur une analyse de l'effet de quatre techniques de travail du sol sur le comportement physico-mécanique du sol et conséquences sur le développement de deux cultures (blé dur et lentille), cette étude a été menée dans une zone semi-aride à savoir Setif, durant trois campagnes agricoles.

Le chapitre 5 pour sa part, a porté sur une analyse du comportement physico-mécanique du sol sous la succession de trois chaînes d'outils aratoires, et conséquences sur l'enracinement du blé dur. Cette étude a été réalisée à la station expérimentale de l'école nationale supérieure agronomique d'El Harrach durant une campagne agricole. Ce chapitre sera présenté sous forme d'article scientifique qui a été publié en 2021 dans la revue ALJEST.

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



*Partie*

*Bibliographique*

***CHAPITRE 01 :***

***PROBLÉMATIQUE DE LA***

***CÉRÉALICULTURE ET***

***CULTURES LÉGUMINEUSES***

***EN ALGÉRIE***

## **Chapitre 01 : Problématique de la céréaliculture et cultures légumineuses en Algérie**

### **Introduction**

La céréaliculture est l'une des premières activités agricoles. Bien que les céréales aient été récoltées à l'origine à des fins médicales et textiles, elles sont maintenant en approvisionnement régulier et abondant pour les humains et le bétail.

C'est au début du Néolithique, il y a environ 10.000 ans, que l'Homme a commencé à cultiver les céréales en pratiquant la domestication d'espèces sauvages. Le croissant fertile (Moyen-Orient), l'Amérique Centrale et l'Asie du Sud-Est sont les berceaux de la majorité des espèces céréalières consommées actuellement dans le monde entier. (Levy et Feldman, 2002).

La famille des légumineuse (aussi appelées Fabacées), l'une des plus importantes du règne végétal (16000-19000 espèces) comporte 750 genres différents (Domergue et al., 1993).

Les légumineuses sont riches en glucides complexes. Elles représentent donc une excellente source d'énergie. Elles renferment très peu et souvent aucun acide gras. Elles se distinguent aussi par leur forte teneur en fibres alimentaires. Parmi les légumineuses, la lentille est l'une des principales légumineuses alimentaires à cycle court, tout comme le haricot vert et la fève (Lévesque. D 1994).

Dans ce premier chapitre, on tentera de présenter la problématique suprême de l'agriculture algérienne à savoir la production céréalière et légumineuse, il mettra en évidence l'examen de l'évolution de la production céréalière algérienne, les causes des baisses des rendements à la lumière de son importance dans l'agriculture algérienne.

### **1.1.Importance des céréales et légumineuses dans l'agriculture algérienne**

#### **1.1.1. Importance des céréales dans l'agriculture algérienne**

Les céréales occupent une place très importante comme source d'alimentation humaine et animale dans le monde (Allaya, 2006) ; représentent dans les pays méditerranéens les principales productions agricoles avec plus de 50 % des surfaces cultivées (Bencherif et al. 2009) ; et contribuent dans ces pays de 35 à 50% des apports caloriques de leur ration alimentaire (Allaya, 2006).

En Algérie, la sole céréalière, occupe environ 80 % de la superficie agricole utile (SAU) du pays (Djermoun, 2009). Les céréales sont cultivées entre les isohyètes 200 et 800 mm ; elles

## **Partie bibliographique**

offrent une production de 20 millions de quintaux moyennant et 7 q/ ha le rendement moyen mondial (FAO, 1997). La production des céréales reste tributaire des facteurs agro-climatiques d'une part et d'autre part des facteurs d'ordre technique comme la rotation, la fertilisation et le travail du sol (Benniou, 2008 ; Abdellaoui *et al.* 2010). Le déficit hydrique par l'irrégularité des précipitations et la salinité du sol représentent également des limites importantes pour la croissance des plantes et la production agronomique dans les zones méditerranéennes, particulièrement en Algérie (Riah *et al.*,2014).

L'Algérie est un pays maghrébin où la semoule du blé est habituellement utilisée pour la fabrication du couscous et diverses sortes de gâteaux secs (Padila et Oberti, 2000). La semoule du blé doit répondre à un ensemble de critères de qualité qu'exigent les fabricants de pâtes. Les principaux critères de qualité sont : la couleur ; la tenue à la cuisson, leur poids spécifique et leur teneur en protéine.

### **1.1.2. Importance des légumineuses dans l'agriculture algérienne**

La culture des légumineuses alimentaires (légumes secs) fait partie du paysage agricole depuis des millénaires dans différentes zones agroécologiques du pays, et sont utilisées dans la rotation avec les céréales car elles enrichissent le sol en azote (FAO STAT, 2011). Pour une bonne rotation il est important de respecter un intervalle de 5 à 6 ans entre deux lentilles pour limiter les risques de maladies liées aux légumineuses.

Elles sont donc d'un grand intérêt national, et comprennent des espèces très importantes utilisées comme cultures vivrières qui viennent après les céréales et avec qui elles forment la base du régime alimentaire notamment pour une large couche de populations (Boudjenouia, 2008), en raison de leurs propriétés nutritionnelles riches en protéines permettant dans une large mesure de corriger les carences en protéines animales ainsi que le déséquilibre alimentaire.

### **1.2.Zones de production des légumineuses et céréales en Algérie**

#### **1.2.1. Zones de production céréalières en Algérie**

La céréaliculture est pratiquée sur une vaste aire géographique, au relief relativement accidenté. Cette superficie est constituée de plaines, des plateaux et des chaînes de montagnes au climat très variable qui va du subhumide à l'aride supérieur, avec une présence plus importante dans la frange pluviométrique des 300-400 mm (Feliachi, 2000 ; Cadi, 2005). Les conditions pédoclimatiques démarquent quatre zones distinctes.

### **a) Zone potentielle :**

Située essentiellement dans les plaines littorales et sub-littorales et le nord des hauts plateaux. Le cumul des précipitations reçu est compris entre 450 et 800 mm La céréaliculture est pratiquée de manière intensive. La superficie occupée par la céréale varie de 1 à 1.2 millions d'hectares (Cadi *et al.*, 2000).

### **b) Zone intermédiaire :**

Localisée principalement au sud des hauts plateaux, la pluviométrie est inférieure à 400 mm, constituant la zone agropastorale où se pratique une céréaliculture de subsistance avec des rendements très bas. La superficie de cette zone est estimée à 1.8 millions d'hectares.

### **c) Zone steppique :**

Où la céréaliculture est pratiquée de manière irrégulière sur 0.3 à 0.8 millions d'hectares, selon les années. C'est une zone à hiver froid, les précipitations enregistrées sont faibles, présentant une grande variabilité interannuelle, de 200 à 300 mm C'est une zone peu productive, axée essentiellement sur la production de l'orge.

### **d) Zone saharienne ou sud**

Où se pratique une céréaliculture sous irrigation.

### **1.2.2. Zones de production des légumineuses en Algérie**

La température, la répartition et la quantité des précipitations semblent être les facteurs déterminant des zones de la production de la lentille à travers le monde.

La répartition de production de la culture de la lentille à l'échelle mondiale est située à l'Ouest de l'Asie, en Afrique du Nord et en Australie, la lentille est semée en hiver dans les zones qui reçoivent une pluviométrie annuelle entre 300 et 450 mm (Materne et Siddique, 2009). Dans les régions subtropicales du Pakistan, Inde, Népal et Bangladesh, la lentille est aussi cultivée comme une culture d'hiver. Par contre, dans les régions à haute altitude et/ou latitude comme la Turquie centrale, les États-Unis, l'Europe et le Canada, où les hivers sont trop froids (-20°C), le semis est retardé jusqu'au printemps (Materne et Siddique, 2009).

En Algérie, les légumineuses alimentaires sont cultivées dans pratiquement toutes les régions des hauts plateaux situés dans les zones semi-arides et les plaines intérieures sub-humides à (isohyète 350 à 450 mm). Elle n'occupe que 1.5% de la totalité des terres réservées aux légumineuses alimentaires (Ait Abdellah *et al.*, 2011).



## **Partie bibliographique**

Les besoins sont évalués à partir de la demande climatique et le coefficient cultural (Tiercelin, 1998). Les besoins du blé sont globalement situés entre 550 à 600 mm Le blé a besoin de 4 à 5 mm par jour à la montaison, période qui voit s'élaborer une composante principale pour le rendement (Moule, 1980).

### **c) Lumière**

La lumière est un paramètre climatique indispensable pour le déroulement du phénomène de la photosynthèse. Les céréales à paille sont des plantes de type C3 relativement peu exigeantes en rayonnement comparativement à d'autres espèces cultivées comme le maïs, plante du type C4. Les densités de semis pratiquées engendrent une compétition pour la lumière au sein du peuplement végétal. Les effets de cette compétition sont inéluctables quand la culture amorce la phase montaison (Gate, 1997).

### **d) Température**

Le zéro de végétation du blé dur est de 0°C, mais pratiquement, la température optimale varie de 20 à 22 °C, jusqu'à un maximum de 35 °C (Eliard, 1974 ; Boyldieu, 1982).

Selon Vilain 1987, le blé dur requiert une somme de température pour ses différentes phases physiologiques qui faisant un total de 2350 °C pour tout le cycle.

Le stress thermique durant la phase remplissage du grain fait diminuer le poids des grains et par conséquent le rendement et la production de farine (Guedira et al., 2002).

## **1.4. Exigences agronomiques des lentille**

Les conditions du milieu influencent largement la croissance et le développement de la lentille et son adaptation à un environnement écologique donné (Erskine *et al.*, 1989). En effet, le stress hydrique et le stress thermique, notamment la sécheresse et les températures élevées, sont les contraintes majeures qui limitent la production de la lentille dans la plupart des milieux, particulièrement pendant les stades de floraison et de formation des graines.

Comparée à d'autres légumineuses alimentaires comme la fève et le pois chiche, la lentille est cultivée dans les régions arides où les précipitations annuelles minimums de 250 mm (Materne et Siddique, 2009). Cependant, le déficit en eau reste une contrainte majeure pour la production de la lentille dans le monde. Tout comme le déficit en eau, la lentille ne tolère pas l'excès en eau ou l'inondation. La partie végétative et les racines sont sévèrement affectées par l'inondation après la levée (Jayasundara *et al.*, 1998). En effet, l'excès en eau peut réduire le rendement de la lentille à toute période pendant la saison de la culture.

## **Partie bibliographique**

Les lentilles sont adaptées à une large gamme de sol, allant de neutre jusqu'à alcalin mais les rendements sont compromis dans les sols acides, sodiques, salins ou avec un niveau élevé en bore. L'allègement de ces problèmes de toxicité à travers la modification de sol n'est pas une solution économique ou solution pratique (Materne et Siddique, 2009).

### **1.5. Rotation céréales -légumineuses**

L'insécurité alimentaire demeure l'un des problèmes cruciaux auxquels l'humanité fait face. Ainsi, les zones d'insécurité alimentaire, réparties à travers le monde sont beaucoup plus concentrées sous les tropiques et surtout en Afrique au Sud du Sahara (Worou. Et *al.*, 2016).

Cette situation d'insécurité alimentaire a conduit à de nombreuses recherches dans le but d'améliorer les rendements des différentes cultures vivrières, avec un regard particulier porté sur les céréales et les légumineuses qui constituent la base de l'alimentation dans la plupart des pays africains (Ngamo *et al.*, 2007).

L'eau et son utilisation efficace sont la clé de la réussite en production agricole sur les sols ensemencés. Le fait de laisser certains champs en jachère durant une saison permet d'augmenter le rendement céréalier subséquent par unité de terres ensemencées, mais permet rarement d'augmenter la production totale de grain annuelle du terrain agricole. En fait, la production céréalienne totale est habituellement plus forte pour les rotations dans lesquelles la terre est cultivée continuellement. (Vertes *el al.*, 2010). Les rendements céréaliers sont couramment plus élevés lorsque les cultures sont produites sur du chaume d'oléagineux plutôt que sur du chaume d'autres céréales.

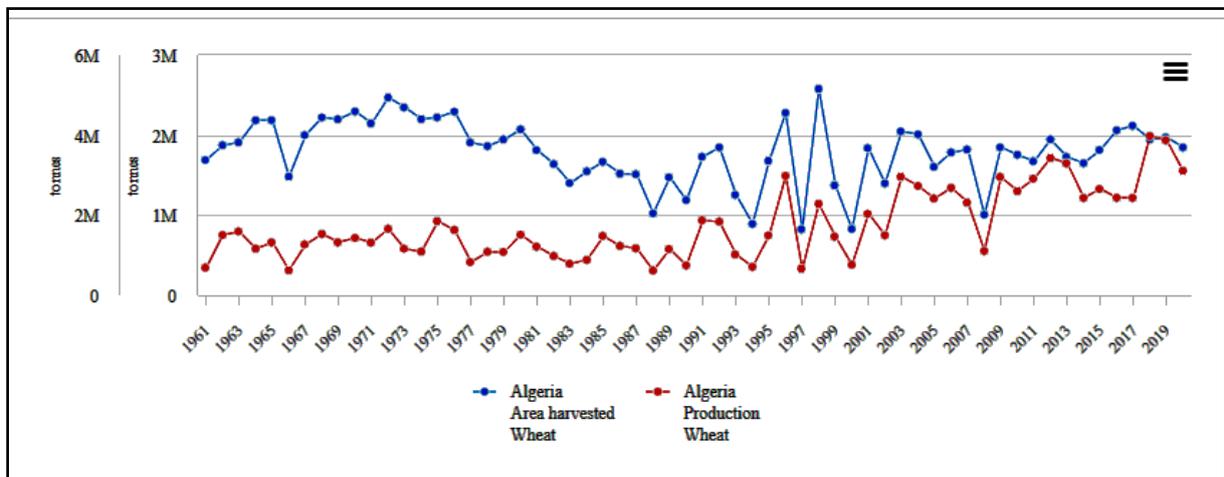
Le fait d'inclure du lin dans la rotation entraîne parfois une réduction des rendements du blé, car le lin concurrence mal les mauvaises herbes. Cependant, ses effets sur les cultures subséquentes ne sont souvent pas bien définis (Bedoussac *et al.*, 2011). Les rotations qui comprennent des fourrages de graminées légumineuses ou des légumineuses cultivées pour l'affouragement en vert peuvent s'appliquer aux sols noirs et gris. Cependant, leurs effets sur les rendements céréaliers subséquents ne sont ni uniformes ni toujours avantageux. Dans les régions plus sèches, les problèmes d'établissement des légumineuses et la concurrence qu'elles font pour s'approprier la faible humidité disponible font qu'elles conviennent moins à la rotation avec les céréales (Mapfumo, 2011).

Selon des nombreux chercheurs tels que Pereira et Bliss 1993, Betencourt, 2012 les avantages agronomiques offerts par la culture des légumineuses sont nombreux :

- La fixation de l'azote atmosphérique (N<sub>2</sub>) (jusqu'à 40 U de reliquat azoté).
- L'amélioration des caractéristiques physico-chimiques du sol (fertilité).
- La gestion de la résistance des adventices, notamment le brome qui est fréquent sur tout aux terrains menés par semis direct (cas des hauts plateaux).
- La gestion de la maladie du piétin échaudage.

### 1.6. Situation de la production du blé en Algérie

La production de céréales en Algérie est marquée par une forte irrégularité, elle-même conditionnée par les aléas climatiques (figure 2). Ainsi, sur les 40 dernières années, on enregistre un écart de 1 à 5 entre une année calamiteuse (9,7 millions de qx en 1994) et une année d'abondance (52,5 millions de qx en 2009) (figure ci-dessous). Cependant, les progrès technico-économiques, s'ils ne parviennent pas à stabiliser la production du secteur, ont permis de l'augmenter significativement : la moyenne décennale a ainsi presque doublé entre 1981-90 (18,2 millions de qx) et 2001-2010 (34,9 millions de qx), avec une progression régulière qui a permis d'accompagner la progression démographique (de 19 à 38 millions d'habitants entre 1980 et 2012). (Echcherki, 2016).



**Figure 2:** Evolution de la production du blé entre 1961 et 2020.

Source : Faostat, 2022

Selon (MADR, 2022), les quantités de céréales collectées au niveau de l'Office algérien interprofessionnel des céréales (OAIC) ont atteint 13 millions de quintaux de blé tendre et dur.

Les superficies annuellement emblavées représentent 3,6 millions d'hectares, soit 50% des terres labourées (MADR, 2007). Les grandes cultures, notamment les céréales, les légumineuses alimentaires, les fourrages et les oléagineux sont des produits alimentaires de

première nécessité dans l'agriculture algérienne elles constituent la consommation de base qui est estimée à environ 228 kg par habitant et par an pour les céréales (Ait Abdallah-Djennadi et *al.*, 2010) comparativement à l'Egypte dont la moyenne est de 131 kg/hab/an et à la France dont la moyenne est de 98 kg/hab/an (FAO, 2007). La production totale des céréales est très variable d'une année à une autre sous l'effet des facteurs du climat, en particulier le manque d'eau. La production totale des céréales est loin de couvrir la demande qui est de plus en plus importante elle est d'ordre de 6.5 MT (Badrani, 2004).

### 1.7. Situation de la production des lentille en Algérie

La superficie emblavée en Algérie en lentille en 2016 a été de 8700 hectares pour une production totale de 100.000 quintaux et un rendement moyen de 11 q/ha. La production nationale ne couvre pas les besoins de la population d'où le recours à l'importation (60 millions de \$ en 2016). Des rendements de pointe de 35 q/ha ont été obtenus à Tiaret en 2016 et 2017 (printemps peu humides)

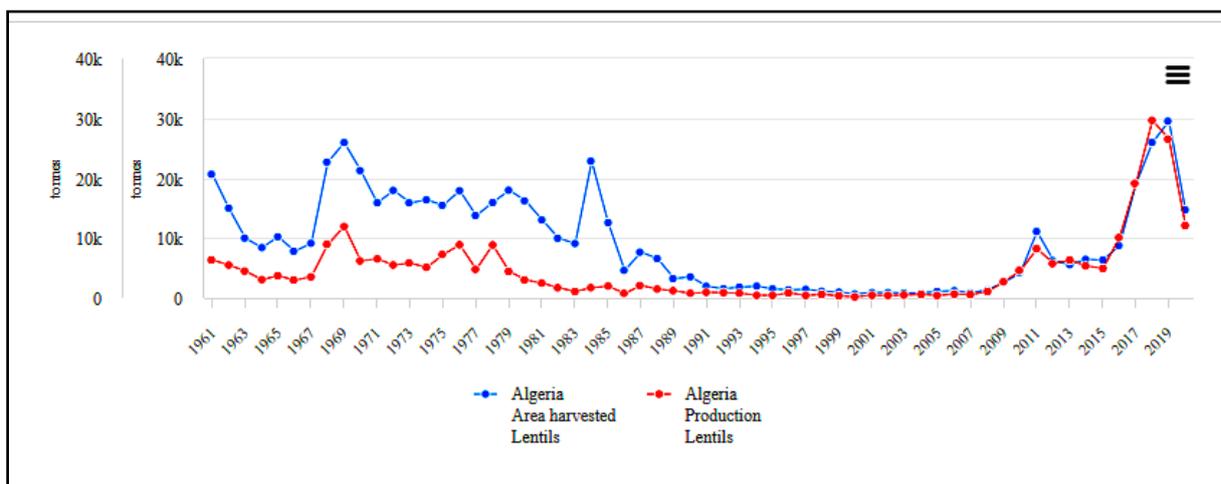


Figure 3: Evolution de la production des lentille entre 1961 et 2020.

Source : Faostat, 2022

### 1.8. Problèmes liés à la production du blé et lentille en Algérie

La production moyenne du blé des 5 dernières années (2016 à 2020), s'élève à 3 106 000 de tonnes sur une superficie moyenne récoltée de 1 800 444 ha, ce représente des rendements moyens de 17 qx/ha. (MADAR2021).

En dépit d'indéniables progrès, les rendements du blé et des lentille restent faibles et très irréguliers ce qui se situe loin derrière la productivité des pays méditerranéens de l'Europe et s'explique à la fois par des causes naturelles (sol et climat), techniques (semences, pratiques culturales) et humaine (organisation et formation des producteurs).

## **Partie bibliographique**

Les conjectures futures n'indiquent pas d'amélioration. D'après les prévisions du secrétariat de la Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement, la demande des céréales en Algérie, connaîtra une augmentation de plus de 60% les prochaines années. Cette situation risque d'accentuer plus si on prend en considération la spécification de la consommation alimentaire en Algérie qui est déterminée essentiellement par deux facteurs. D'abord par le changement des régimes alimentaires de la population et ensuite par l'augmentation des quantités consommées. Ce qui nous pousse à se questionner :

### **Pourquoi l'Algérie n'arrive pas à atteindre son autosuffisance en matière de céréale ?**

Les contraintes qui entravent la production du blé en Algérie sont celles que subit toute la filière céréalière, les aborder revient à analyser les paramètres de la production à caractère naturel, socioéconomique et structurel qui auraient une incidence sur le niveau de la productivité au pays.

Les insuffisances techniques dont souffre la production céréalière en général et celle du blé en particulier sont très nombreuses, mais les principales se résument en:

- La faiblesse qualitative et quantitative des semences, et la négligence concernant leur priorité ;
- Le caractère extensif de la production (l'insuffisance dans l'application des itinéraires techniques) ;
- L'insuffisance des potentialités hydriques, et faiblesse des moyens d'irrigation ;
- Non-maitrise des techniques modernes de production, et le caractère empirique de la recherche et de la vulgarisation agricole.
- *Le non-respect de l'itinéraire technique, notamment les techniques culturales, particulièrement la préparation du sol qui sont négligées ou méconnues, faute de sensibilisation ou par manque de matériel adéquat.*

### **Conclusion**

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

La maîtrise insuffisante de l'un des facteurs de production agricole les plus importants à savoir la mécanisation de la céréaliculture a accentué les baisses des rendements des céréales en générales, pour notre part, et autant que machiniste agricole, nous allons essayer d'apporter notre contribution dans ce contexte, à savoir l'impact des techniques de préparation du sol sur les rendements du blé et lentille, On va présenter dans ce qui suit les techniques culturales les plus répandus dans le monde et en Algérie, et les travaux relatifs à l'effet de ces techniques sur les propriétés physico-mécanique du sol.

**CHAPITRE 2 :**

***PRÉSENTATION ET***

***OBJECTIFS DES***

***TECHNIQUES DE TRAVAIL***

***DU SOL***

## **Chapitre 2 : Présentation et objectifs des techniques de travail du sol**

### **Introduction**

Le travail du sol est une pratique ancestrale, dont un des buts premiers est de créer un environnement favorable à la germination des graines et au développement des racines

Au niveau de ce chapitre, il sera question de présenter les différentes techniques de travail du sol, leurs objectifs, les différents types de semoir de semis direct ainsi que l'état du semis direct en Algérie.

### **2.1 Présentation des techniques de préparation du sol**

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

Fondamentalement, la préparation du sol d'une parcelle consiste à réaliser une ou plusieurs opérations culturales choisies dans un ensemble de techniques classées, par ordre de profondeur décroissant, en trois catégories : sous-solage, travail profond et travail superficiel. Ces opérations ne sont toutefois pas toutes indispensables. Ainsi par exemple, le sous-solage n'est pas pratiqué tous les ans, le labour est dans certains cas éliminé temporairement ou définitivement (Techniques culturales simplifiées (TCS) ou techniques sans labour - TSL) et l'on peut, à l'extrême, implanter une culture sans aucune préparation du sol (semis direct). Les décisions quant à l'opportunité de telle ou telle opération, le choix des dates d'intervention ou des outils à utiliser, dépendent d'une série de facteurs dont les principaux sont :

- ❖ La nature et à la quantité de matières à enfouir (amendements, engrais, résidus de la culture précédente, adventices,
- ❖ Les risques associés au climat à venir (risque de sécheresse, de pluie battante, probabilité de gel.),
- ❖ La nature et à l'état physique du sol à préparer (texture, humidité, perméabilité, degré de tassement),
- ❖ Les exigences propres de la culture à implanter (taille de la semence, sensibilité des racines à la structure du sol),

- ❖ Les risques phytosanitaires liés à la présence de résidus rémanents ou d'agents pathogènes liés au sol ou aux résidus de la culture précédente.

### **2.1.1 Les techniques de travail du sol profond**

#### **a) Labour**

Nous définissons le labour comme étant une opération de travail profond avec retournement du sol et mélange de ses horizons. Nous considérons que les labours peuvent être compris entre 15 et 40 cm de profondeur, même si le labour traditionnel français est réalisé le plus souvent entre 20 et 30 cm, avec une moyenne de 25 cm (Guerif, 1994). Le volume de terre travaillé par la charrue est appelé couche arable.

L'agriculture conventionnelle basée sur le travail intensif du sol et la jachère a montré ses limites, devant la dégradation des sols et la stagnation des rendements. En effet, le travail mécanisé du sol a engendré l'émiettement, le tassement et la compaction des sols, l'appauvrissement en matière organique et l'érosion (Mrabet, 2001 ; Chervet *et al.*, 2005 ; Mrabet, 2010, Boiffin *et al.*, 2001).

#### **b) Décompactage**

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

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

#### **c) Sous-solage**

Le sous-solage est un travail profond, touchant le ou les horizon(s) situé(s) sous le fond de labour, sans retournement ni mélange des couches de terre. Il est généralement effectué à des profondeurs allant de 40 à 80 cm, plus importantes que dans le cas d'un décompactage. Le sous-solage est la seule opération de travail du sol qui soit plus profonde que les labours.

## **Partie bibliographique**

Le sous-solage est destiné à faire éclater les couches profondes pour améliorer la porosité au-dessous du fond de labour. Effectué à l'aide d'une sous-soleuse (outil à dents droites équipées de socs ou d'obus), il facilite la pénétration des racines et le drainage de l'eau en excès. Il peut être aussi réalisé avec certains décompacteurs à dents droites. Il a parfois comme objectif de détruire les couches profondes dures et imperméables situées sous le fond de labour (dépôt induré ferrugineux, alios des Landes, semelle de labour, etc.). Le sous-solage vient parfois en complément d'un drainage : il facilite des mouvements de l'eau à condition d'être pratiqué obliquement par rapport à la ligne de pente et à la direction générale des drains (Larousse agricole, 2002 ; Masse et al., 2004). Le décompactage et le sous-solage ont le même objectif d'améliorer la croissance en profondeur des racines

### **2.1.2 Les techniques culturales superficielles**

Les techniques culturales superficielles ou les non-retournement compris 2 grandes sous-ensembles qui sont :

- Travail profond sans retournement qui se divise en pseudo-labour et décompactage.
- Travail en surface qui se divise aussi en travail superficiel et semis direct.

#### **a) Pseudo labour**

Cette pratique de travail superficiel est spécifique aux itinéraires avec labour. Après le passage de la charrue, en automne ou au printemps, on cherche à émietter le labour avant la préparation du lit de semences. A l'origine, on parlait de reprise de labour pour un passage de « canadien » (cultivateur léger) destiné à aplanir les labours (Diehl, 1995). Ce passage d'outils permettait d'aérer les sols lourds et d'ameublir les labours pris en masse pendant l'hiver. Aujourd'hui, les labours ne sont pas systématiquement repris, étant pour la plupart relativement couchés et émiettés. La reprise est confondue avec la préparation du lit de semences qui s'effectue en 1 ou 2 passages. Les outils de reprise du sol sont variés. Même si l'on peut utiliser des outils à disques, la reprise du labour est généralement effectuée à l'aide d'outils non animés (cultivateurs lourds ou légers, outils à dents combinés). Les profondeurs de reprise de labour, très variables selon les objectifs recherchés, peuvent aller jusqu'à 15 cm. (Barthelemy et Billot, 1992 ; Masse et al., 2004)

La gamme d'outils utilisés en pseudo-labour est variée (Barthelemy et al., 1992). Les machines à bêcher, outils entraînés par la prise de force, travaillent jusqu'à 40 cm de profondeur. Elles

## **Partie bibliographique**

ameublissent en profondeur et réalisent un mélange homogène entre la terre et les résidus, lorsque les conditions d'utilisation sont optimales. D'autres outils classiques de pseudo-labour, comme les charrues à disques, les cultivateurs lourds (chisels) et les pulvérisateurs lourds (disques), ameublissent entre 20 et 30 cm de profondeur.

La plupart des décompacteurs peuvent aussi être utilisés pour réaliser un pseudo-labour, en augmentant le nombre de lames par rapport à un usage classique de décompactage et, parfois, en les inversant 2 à 2.

### **b) Travail minimum**

De nombreux termes se basent sur la notion de simplification du travail du sol. Cela peut sous-entendre que le sol n'est plus labouré mais n'est pas très précis, notamment quand l'expression est utilisée dans différents pays aux pratiques de travail du sol très différentes (Monnier 1991). Nous rencontrons ainsi différents qualificatifs tels que « Travail simplifié », « Travail réduit », « Travail minimum ». Les expressions TCS ou « Techniques Culturelles Simplifiées » sont très fréquemment utilisées dans le monde. TCS connaît aussi des traductions diverses qui s'éloignent du sens premier (Techniques de Conservation du Sol, Techniques Compliquées de Semis). On peut assimiler les Techniques Culturelles Simplifiées aux Techniques Culturelles Sans Labour à condition que l'intensité du travail du sol soit significativement réduite par rapport aux systèmes avec labour. Sur le terrain, on oppose parfois les termes TCS et semis direct, ce qui sous-entendrait que les TCS incluent forcément un travail superficiel (Cedra et al., 1993).

### **2.1.3 Semis direct**

La notion du semis direct désigne une technique culturale simplifiée basée sur l'introduction directe de la graine dans le sol. C'est une technique admise comme une technique conservatrice du sol et la stabilisatrice des rendements (Angar et al., 2010).

Le semis direct est une partie intégrante de l'agriculture de conservation que l'on peut définir comme un ensemble de pratiques qui visent : une bonne gestion des ressources édaphiques alternent au minimum la composition et la structure du sol et le préservant de la dégradation et de l'érosion (Boulal et al., 2007).

#### **2.1.3.1 Le semis direct et ses variantes**

Les méthodes culturales de conservation comprennent **sans labour (no-till)**, **semis en bande (strip-till)**, **billonnage** ou en **crête (ridge-till)**. Chaque méthode nécessite différents types

d'équipements spécialisés ou modifiés et des adaptations en matière de gestion ; le choix de l'une ou l'autre sera déterminé par la culture à ensemercer ; le type et la quantité de résidus et la texture et les conditions du sol.

### **a) Semis direct sans travail du sol (no-till):**

Cette méthode consiste de semis directement sur des sols non préparés, dans les résidus (sans labour). Sa gestion dépend de la capacité du semoir à maintenir une profondeur de semis adéquate malgré les variations des conditions de sol et des quantités de résidus (Massicotte et *al.*, 2000). Cette technique est appliquée dans le cas des céréales et le soja, principalement sur les sols sableux et limoneux avec une quantité modérée de résidus mais déconseillée sur les sols argileux (limono-argileux et argileux), elle peut aussi convenir pour le semis direct de maïs sur un précédent soya en sol léger (Massicotte et *al.*, 2000).

### **b) Semi direct avec travail du sol en bandes lors du semis (strip-till)**

Dans cette technique consiste à travaillé à l'aide de divers accessoire, d'étroites bandes de sol sont labourées avec le reste du champ en friche (Massicotte et *al.*, 2000). Le travail en bandes est une avenue intéressante pour la culture de Maïs.

### **c) Semis direct avec travail du sol (Billonnage) (ridge-till)**

Une autre approche est celle qui consiste à planter les cultures en rangs sur les crêtes permanente environ 10 à 15 cm de haut. Les sols sont travaillés sur des bandes étroites l'automne précédent ou au printemps, quelques jours avant le semis (Massicotte et *al.*, 2000). Cette méthode favorise un réchauffement et un assèchement plus rapide du sol, mais nécessite un passage de plus que les deux autres approches.

## **2.2 Présentation des outils aratoires**

Selon Amara (2007), les outils aratoires sont classés comme suit :

### **a) Matériel de travail du sol primaire**

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

### **b) Matériel de travail du sol secondaire**

- ❖ Outils à dents : Les cultivateurs.
- ❖ Les herses.

### **2.3 Mode d'action des pièces travaillantes des outils aratoires**

#### **a) Charrue à soc**

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

La bande de terre est découpée verticalement par le coutre et horizontalement par le soc, ce qui, en consistance semi plastique, entraîne un lissage important du soc en fond de raie. Elle est ensuite soulevée par le soc et la partie antérieure du versoir. Le long de la partie postérieure du versoir, elle subit une rotation et une translation latérale pour arriver en appui sur la bande précédente (Seignobos Ch., 1985). Par ailleurs, on peut observer :

- ❖ Un frottement le long du versoir responsable de la formation de terre fine à la consistance friable. A la consistance semi plastique, il produit des lissages.
- ❖ Une adhérence de la terre le long du versoir responsable de bourrage et de mauvais retournement de la bande de labour à la consistance semi plastique.
- ❖ Une retombée de terre en fond de raie si la profondeur est excessive par rapport à la hauteur du versoir.

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

#### **b) Cover-crop**

Le Cover-Crop ou le pulvérisateur offset comporte deux trains de disques placés l'un derrière l'autre en V ouverte sur le côté, selon un angle de 30° à 50° (Amara, 1983). L'action du disque dans une terre ressuyée provoque :

- ❖ L'ameublissement du sol : ce qui se fait par le sectionnement de mottes de grandes dimensions laissées par les labours. Ce phénomène rend les pulvérisateurs très efficaces.
- ❖ Le nivellement du sol : les disques retournent partiellement la terre qui se déplace à leurs contacts. Ce phénomène de déplacement associé à la pénétration provoque un très bon nivellement.
- ❖ L'enfouissement : le cover - crop enfuit et sectionne les débris végétaux laissés par le labour.

## **Partie bibliographique**

- ❖ Le tassement : les pulvérisateurs réduisent la porosité excessive provoquée par le labour.

### **c) Chisel**

Selon Amara, 1983, le mécanisme d'action du chisel s'exerce de deux façons à la fois :

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

## **2.4 Développement des techniques culturales simplifiées**

### **2.4.1 Matériel de semis direct**

Historiquement, les premiers pas du Semis Direct (SD) dans les pays du Maghreb remontent aux années 1970-1980, lorsque des essais ont été réalisés par les structures de recherche publiques avec des semoirs américains (du type Tye) importés pour l'expérimentation. Cette approche semble avoir été abandonnée par la suite, sauf au niveau d'essais en station menés par l'INRA du Maroc. (Feddal MA, 2015).

En Algérie, les premiers essais en agriculture de conservation remontent à l'année 2004, plus précisément, après la tenue de deux rencontres méditerranéennes du semis direct à Tabarka en Tunisie (essai longue durée à la ferme de démonstration et de production de semences d'Oued Smar, Alger), et ce afin d'évaluer l'effet du mode de gestion du sol sur le comportement du blé et sur l'évolution de la structure du sol et la conservation en eau (Abdellaoui et Zaghouane et *al.*, 2011).

L'introduction des techniques culturales simplifiées reste timide, elle est à son stade expérimentale, on enregistre actuellement une introduction du système semis direct dans les régions de Sétif, Oum El Bouaghi, Guelma ou Annaba, sont déjà convertis à cette nouvelle

## Partie bibliographique

pratique. On compte déjà une vingtaine de semoirs de semis direct sur le terrain, près de 7000 hectares sont concernés.

Une des contraintes à l'adoption de ce système par les agriculteurs algériens est la disponibilité et le coût élevé de semoirs spéciaux. Le semis direct consiste à mettre les graines directement dans le sol couvert par le résidu de la récolte précédente. Pour être rentable, cette technique doit être pratiquée dans des conditions favorables. Mais son succès dépend du semoir utilisé (Labad, 2021). Le rôle le plus important des semoirs est la précision d'enfouissement de la graine à travers le couvert végétal et assurer un bon contact semences-sol. En général, il existe deux types de semoirs qui diffèrent par éléments semeurs : disques ou dents. Le type de dents est utilisé sur des sols à haute résistance à la pénétration, mais cela entraîne souvent des problèmes de colmatage des équipements par les résidus. De plus, ce type est difficile à utiliser sur des sols caillouteux avec de fortes densités racinaires. D'autre part, les éléments semeurs à disques ont une faible capacité de pénétration dans le sol, en particulier dans les sols argileux mais nécessitant une faible puissance de traction. En 2016, le Complexe des Machines Agricoles « CMA » de Sidi Bel Abbes (Algérie) a développé un prototype de semoir "BOUDOUR" sans labour qui répond aux besoins des agriculteurs algériens : puissance des tracteurs, prix bas et bonne qualité du travail.

Nous présenterons dans ce qui suit les semoirs de semis direct les plus répandus en Algérie :

### **a) Semoir herbager Aitchison**

Les semoirs spécialisés pour le semis direct. C'est notamment le cas du semoir Aitchison avec sa dent en forme de « T » qui réalise des conditions optimales de germination-levée. Dans les cas de sols argileux, des risques de lissage des parois de la ligne de semis sont à craindre. .: (Djamel Belaid, 2015)

-un train de disques montés en avant du semoir assure un premier tranchage du sol en conditions très dures mais c'est bien le soc qui réalise l'essentiel du travail.

-De plus, la force exercée par la dent à ressort dans ce cas, va appuyer le fond de la ligne de semis, et favoriser ainsi la remontée capillaire de l'humidité jusqu'au niveau des graines.

**Tableau 1** :Caractéristiques du semoir Aitchison

vitesse de semis	❖ 12 km/h est possible sans trop solliciter le tracteur de 90 CV.
Prix :	❖ 8 000 €.

## Partie bibliographique

Coût de location :	❖ 35€/ha
Largeur de travail :	❖ 2,10 m
Système de distribution	❖ mécanique avec un système d'enterrage à socs. ❖ distribution mécanique sans prise de force
Consommation en carburant réduite	❖ (6-8lt /ha).
Organes d'entirage	❖ dent équipée d'un soc en T inversé
Poids	❖ assez léger



**Figure 4** : semoir de semis direct herbager Aitchison

**Source: Simtech Aitchison**

### **b) Semoir SEMEATO SHM 13 :**

Le semoir SEMEATO SHM 13 est conçu sur la même principe que les semoirs en ligne mais les disques et les socs ont une action plus agressive que sur les engins classiques. La pression sur ces éléments est aussi plus importante afin de pénétrer dans la terre peu travaillée .



**Figure 5:**Le semoir SEMEATO SHM 13

**Source :** SEMEATO, 2022

**Tableau 2 :**Caractéristiques du semoir sont les suivantes :

<i>Origine :</i>	<i>BRESIL</i>
La largeur de travail	2,40 m
Marque :	SEMEATO
Système de distribution	A ergots.
Distance en rong	18 cm
Volume de tremie	270 kg
Poids du semoir	1870kg

**Source :** SEMEATO, 2022

**c) Semoir SEMEATO SHM 30 :**

C'est un semoir de semis direct, elle faire l'opération de semis et ouverture des sillons et la mise en place des graines sur le lit de semence avec un seul passage sans retournement et émiettement. Cette méthode est très utilisée au monde notamment au Brésil et en Afrique du sud, elle est très répondu en sols riches en matière organique, c'est la plus haute technique de conservation du sol.

**Tableau 3:** Caractéristiques technique de semoir direct SEMEATO SHM 30 :

<i>Origine :</i>	<i>BRESIL</i>
Marque :	SEMEATO

## Partie bibliographique

Système de distribution	A ergots.
Model :	SHM 30
Largeur de travail :	3 metres
Nombre D'élément semeurs:	16
Ecartement entres les lignes de semis	16 cm
Capacité de la trémie :	270 litre
Poids de la machine :	1870kg
Puissancedu tracteu pour leur traction :	75 cv

Source : SEMEATO, 2022

### d) Semoir de semis direct SEMEATO PD 17

ce semoir a 2type de doser de graine selon la calibre des grains :

- ✓ grands grains :elle est exécutée par des disques de graine de cellules pour la distribution de soja, de maïs, de sorgho, d'haricots, de coton et de tournesol
- ✓ petits grains : Tasse cannelée d'alimentation.



**Figure 6:** semoir de semis direct SEMEATO PD 17

Source :Echcherki,2019

Tableau 4 : Caracteristique du Semoir de semis direct SEMEATO PD 17.

<b>MODÈLE</b>	FORET 17 DE PERSONALE
<b>Options des espacements des rangées X</b>	
<b>Petits grains</b>	17 rangées X 17 cm 06 rangées X 50 cm

## *Partie bibliographique*

<b>Grands grains</b>	07 rangées X 45 cm 08 rangées X 40 cm 05 rangées X cm 60/65/70 04 rangées X cm 75/80/85/90
<b>Système de distribution</b>	A ergots.
<b>Capacité de boîte de graine de polyéthylène (maximum)</b>	752 litres de ~ 564 kilogrammes
<b>Capacité de boîte de graine d'acier du carbone (maximum)</b>	795 litres de ~ 596 kilogrammes
<b>capacité de polyéthylène de boîte d'engrais (maximum) :</b>	980 litres de ~ 1108 kilogrammes
<b>capacité du carbone d'acier de boîte d'engrais (maximum) :</b>	970 litres de ~ 1096 kilogrammes
<b>poids d'Aproximate :</b>	3310 kilogrammes (grands grains) 3130 kilogrammes (petits grains)
<b>Opération de vitesse</b>	6 par 8 km/h (soja) 4 par 6 km/h (maïs/maïs)
<b>Largeur utilisable</b>	2.7 mètres

source :semeato Mai / 2010

### e) Semoir des ETS REFOUFI (SÉTIF) :

Il s'agit d'un semoir trainé de 3,40 m à 19 éléments semeurs. Ils sont constitués de larges dents droites fixées à des montant verticaux, d'où un châssis surélevé. Chaque dent est munie de ressorts et y sont accolés deux tubes permettant un placement distinct des semences et engrais provenant de deux trémies de grande capacité accolées l'une à l'autre. Derrière chaque dent sont fixées deux roues plumbeuses appuyant le sol au fond du sillon. Celles-ci sont munies d'un racleur de terre bien utile en cas d'utilisation en conditions humides. Certains éléments du semoir sont inspirés du semoir syrien de marque Aschbel présent dans la région.



**Figure 7:** Semoir de semis direct Ets Refoufi ITGC Setif.

**Source :** itgc setif , 2015

**f) Semoir « BOUDOUR » de CMA-SOLA :**

Le prototype « Boudour » de l'entreprise publique CMA-SOLA (Sidi Bel-Abbès) est le fruit d'une coopération entre experts de l'ITGC, de SOLA et des australiens dont Jack Desbiolles.

Il s'agit d'un semoir de 2,40 m à attelage trois points avec 14 éléments semeurs à dents après les Modifications réalisées par les agriculteurs: il a enlevé 4 dents "double spirale" sur les 17 de son semoir pour un but de mieux espacer les dents et donc éviter le bourrage de la paille entre les dents ainsi éviter de forcer sur le moteur du tracteur. La trémie est en position surélevée ce qui permet un écoulement par simple gravité. Les dents à ressort sont étroites et courbées avec un soc ouvreuse de faible largeur afin de limiter la perturbation du sol. Les engrais et semences sont placés de façon séparée. Les dents sont placées sur 3 poutres différentes ce qui permet un large espacement entre éléments semeurs et une bonne gestion des résidus de récolte. La dernière poutre permet la fixation de roues plombeuses. La profondeur de semis est réglée au centre en faisant varier la pression sur les barres d'outils ce qui fait varier la profondeur d'engagement des dents. Le semoir commun de 3m à 19 rangs est vendu pour env. 8 000 USD.

Des essais sont en cours chez des agriculteurs.



**Figure 8:** Semoir « BOUDOUR » de CMA-SOLA.(ITGC SETIF)

Source :Echcherki 2019

**g) Semoir CONNOR SHEA:**

Ce semoir mesure 2,1 m, en 3 rangs et 14 dents.. Il est encore en bon état mécanique mais nécessite un nouveau jeu d'engrenages, de chaînes et de tubes de semences (endommagé) et certains extrémités étroites des dents (knock on 70mm type fitted) pour être utilisable. Les dents sont suffisamment fortes pour le semis direct, mais elles sont fixées avec un espacement étroit entre les rangs (15 cm). Aussi, la capacité de gestion des résidus de récolte de ce semoir sera très faible



**Figure 9:** semoir CONNOR SHEA

Source : Itgc Setif.

## Partie bibliographique

**Tableau 5:** Caractéristique du semoir CONNOR SHEA :

<b>le prix :</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>7500-8000 \$US.</b></li></ul>
<b>MODÈLE :</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>14 Tyne/2.1 m</b></li></ul>
<b>Système de distribution</b>	A ergots.
<b>SYSTÈME de seeding de MESURE de GRAINE 2.3:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• extérieurement animée par les roues d'alimentation</li><li>• chaîne d'entraînement et vitesse (4 vitesses)</li><li>• exposition variable de pain d'ajustement</li><li>• transfert au tuyau compliqué d'ouvreur</li></ul>
<b>SYSTÈME DE MESURE D'ENGRAIS</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• chaîne d'entraînement et vitesse (2 vitesses)</li><li>• le flet de baf d'ajustement au-dessus de doser roule (le levier commandé)</li><li>• transfert au tuyau compliqué d'ouvreur</li></ul>
<b>OUVREURS :</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• T inversé par Baker</li><li>• 14</li><li>• espace entre 6 dents (152 millimètres)</li><li>• nombre des rangées 2</li><li>• distancer entre les rangées 13.5 dans (340 millimètres)</li></ul>

### **h) Semoir JOHN SHEARER:**

Se semoir australien mesure 3m Culti-drill (33 dents sur 4 rangs, inc. 16 ensemencement) est un semoir traîné qui avait une utilisation limitée sur la ferme en raison de l'insuffisance de la puissance du tracteur à l'époque. Il souffre d'une exposition à l'extérieur et d'une cannibalisation de pièces universelles.

Les **Frais minimaux**, 7-8 000 US\$ pour les achats en Australie (+ fret) est probable avec des locaux supplémentaires des pièces (roues / vérins hydrauliques + raccords) et un temps d'atelier important serait également nécessaire pour préparer le semoir. Un kit de roues plombeuses serait nécessaire ainsi que la mise à niveau vers le nouveau système de mesure des semences (les rouleaux actuels sont des fertilisants dans les deux trémies).



**Figure 10:** semoir SD john sheater à dent (ITGC SETIF)



**Figure 11:** semoir SD john sheater à disque (ITGC SETIF)

Source : Echcherki 2019

### i) **Semoir SULKY TRAMLIN CE**

Dans ce semoir, l'arbre des roues à ergots est entraîné par un variateur de vitesse à **“rotation continue”**. Le variateur offre une plage continue de réglage de 1,5 à 400 kg / hectare. Il assure une grande précision de débit aussi bien en petites graines (colza) qu'en grosses graines (pois).

L'essai de débit se réalise rapidement et en toute sécurité, **semoir posé au sol**, grâce aux augets équipés chacun d'une **trappe de vidange**. A partir d'une seule pesée, la réglette SULKY permet de lire directement le bon repère de réglage du débit. Elle facilite l'essai au champ en conditions réelles.



**Figure 12:** semoir SD SULKY ITGC oued smar.

Source : Echcherki,2019

**Tableau 6 :** Caracteristique du semoir SULKY TRAMLIN CE :

<b>Largeur de travail</b>	3,00 m
<b>Capacité de trémie (litres) :</b>	550/800
<b>Organe de distribution</b>	à ergots.
<b>Dimensions de trémie (cm) :</b>	48 x 225.
<b>Ecartements (cm) :</b>	15-12,5.
<b>Nombre de rangs :</b>	20 24.
<b>Poids (indicatifs):</b>	650 kg.

Source : **SULKY-BUREL**

### **Conclusion**

La gestion des sols en agriculture par le choix de techniques culturales adéquates est la source de production agricole durable. Le travail du sol conventionnel utilisant la charrue génère l'érosion, le compactage des sols ainsi que l'appauvrissement en matière organique. Par conséquent, la conservation des sols peut être une alternative. En Algérie, l'adoption de l'agriculture de conservation comme le système de semis direct vise à limiter l'érosion des sols, à améliorer la fertilité des sols et à augmenter les rendements des cultures. Cette pratique, qui a été largement diffusée en Tunisie et au Maroc, commence à se développer dans notre pays, en particulier dans les zones semi-arides. D'après les études menées en Algérie ces dix dernières années, le semis direct semble montrer ses limites notamment pour le nord algérien, à cause de ses inconvénients d'ordre techniques (semoirs de semis direct), pédologiques (sol), économiques (cout) et environnementales (pollution par pesticides), nous allons nous intéresser dans le dernier chapitre de la bibliographie aux études relatives à l'impact des techniques culturales sur les propriétés physico-mécaniques du sol et conséquences sur l'enracinement.

***CHAPITRE 3 :***

***IMPACT DES TECHNIQUES***

***DE TRAVAIL DU SOL SUR***

***LES PROPRIÉTÉS DU SOL***

***ET CONSÉQUENCES SUR LE***

***L'ENRACINEMENT***

## **Chapitre 3 : Impact des techniques de travail du sol sur les propriétés du sol et conséquences sur le l'enracinement**

### **Introduction**

Le travail du sol est la pratique la plus étudiée qui affecte les propriétés et les processus hydrauliques du sol. Cependant, les résultats n'ont pas toujours été uniformes selon les zones d'études, les sols et les protocoles expérimentaux. La littérature ci-dessous met en évidence à la fois les tendances dans toutes les études et les contradictions apparentes. De telles incohérences motivent d'avantage la nécessité d'établir la causalité et la prédiction quantitative des effets du travail du sol sur les propriétés du sol, ainsi que la nécessité d'identifier la variabilité spatiale et temporelle avant la comparaison entre les différentes techniques de travail du sol. Dans ce chapitre, nous nous intéresseront à la revue de littérature des études antécédentes de l'impact des techniques de préparation du sol sur le comportement physico-mécanique du sol et conséquences sur le rendement des cultures.

### **3.1 Effet des techniques de travail du sol sur la conservation de l'eau dans le sol**

#### **3.1.1 Zéro travail du sol**

Selon Monneveux et al., (2006) Les effets du non-labour et la conservation des résidus dans la culture continue du maïs varient fortement en fonction des conditions climatiques, et de la disponibilité de l'azote. Dans la présente étude, le maïs a été cultivé pendant les saisons humides et sèches dans le centre du Mexique pendant trois années consécutives, sous différents traitements combinant le travail du sol avec des techniques de gestion des résidus et avec des taux d'azote. Dans certains traitements, le maïs était également intercalé avec le pois-sabre, *Canavalia ensiformis L.* (DC). Les composantes du rendement ainsi que les caractéristiques physiologiques et les propriétés du sol ont été évalués pendant les saisons humides et sèches pour la troisième année de culture. Pendant la saison des pluies, le non-labour était associé à une diminution de la biomasse et du rendement en grain. La concentration de chlorophylle dans les feuilles était plus faible dans les parcelles non travaillées, ce qui suggère une moindre absorption d'azote. Le non travail du sol et la conservation des résidus ont tous deux réduit la croissance précoce, et fortement augmenté la pourriture de l'épi. Pendant la saison sèche, le non-labour était associé à une plus grande masse racinaire.

La conservation des résidus a diminué l'intervalle d'apparition des soies à l'anthèse, suggérant une meilleure absorption d'eau. Il n'y avait cependant aucun effet significatif du travail du sol

## *Partie bibliographique*

ou des pratiques de gestion des résidus sur le rendement. L'absence de travail du sol s'est avérée associée à une augmentation de la densité apparente du sol, de la concentration en azote et du carbone organique de la biomasse microbienne. La conservation des résidus a augmenté la concentration de carbone dans le sol ainsi que le carbone organique de la biomasse microbienne. La culture intercalaire avec le haricot et la conservation de ses résidus en plus des résidus de maïs ont augmenté la concentration en azote du sol. Une enquête plus approfondie peut fournir plus d'informations sur les facteurs liés au travail du sol sans labour et à la conservation des résidus qui affectent la croissance précoce du maïs, et déterminer dans quelle mesure les modifications observées des propriétés chimiques et physiques du sol induites par le travail du sol de conservation affecteront d'avantage le rendement du maïs.

Alam K. et al. (2014) a mis en place des essais, quatre pratiques de travail du sol différentes, à savoir le zero travail du sol (ZT), le travail du sol minimum (MT), le travail du sol conventionnel (CT) et le travail du sol en profondeur (DT), ont été étudiées dans une conception en blocs complets randomisés avec quatre répétitions. Les pratiques de travail du sol ont montré des effets positifs sur les propriétés du sol et les rendements des cultures. Après quatre cycles de culture, l'accumulation de la matière organique la plus élevée, la densité racinaire maximale (0-15 cm de profondeur du sol) et les propriétés physiques et chimiques améliorées, ont été enregistrées dans parcelles menées en technique de conservation. Les densités apparentes ont diminué sous l'impact des pratiques de travail du sol. Les totaux les plus élevés de N, P, K et S sous leurs formes disponibles ont été enregistrés en culture sans travail du sol. Toutes les pratiques de travail du sol ont montré un rendement similaire après quatre années de culture. Par conséquent, la pratique sans travail du sol avec 20 % de résidus s'est avérée adaptée à la santé du sol et à l'obtention d'un rendement optimal.

D'après J.K. Ward, et al, (2013) ou les plantes de couverture ont été éradiquées chimiquement avant le semis de la culture commerciale. Le rendement, l'humidité du sol, la température des feuilles, la biomasse des cultures de couverture et les données d'analyse chimique des cultures de couverture ont été recueillies. Les résultats des deux premières années de cette étude indiquent que les cultures de couverture d'hiver ont eu un impact négatif sur les rendements des cultures, potentiellement en raison de la disponibilité de l'azote dans le sol. Le travail du sol au printemps a considérablement augmenté les rendements des cultures commerciales. Le travail du sol d'automne n'était pas significativement différent du non travail du sol en raison de la reconsolidation du sol. Au fur et à mesure que les travaux se poursuivent sur cette étude, les

## *Partie bibliographique*

résultats devraient indiquer quels systèmes de culture du sol et de couverture augmentent la qualité, la productivité et la rentabilité du sol dans ces sols dégradés.

Selon Dangolani et al, 2013, qui a étudié l'effet de quatre types d'opérations de travail du sol sur l'humidité et la morphologie du sol et la performance de trois variétés de coton. Les résultats de trois années d'expérience confirment que la réduction du labour conduit à une augmentation de rendement de 695,8, 227,8 et 129,5 kg/ha par rapport aux traitements au disque, au chisel/disque et au versoir/disque. De plus, les mesures morphologiques ont montré que la hauteur des plantes changeait de manière significative, tandis que le nombre de branches monopodiales et sympodiales ne changeait pas de manière significative. Enfin, les résultats montrent qu'aucun système n'augmente la capacité de stockage en eau du sol

Les systèmes de travail du sol sans labour se sont multipliés en Europe en raison de la nécessité de réduire les coûts, d'établir des cultures d'hiver en temps opportun et en raison de l'utilisation des avantages environnementaux perçus. Cependant, l'objectif principal de l'utilisation du travail du sol sans labour est de réduire les coûts de production tout en maintenant ou en augmentant les rendements. La réduction des coûts se traduit par des économies de temps et d'énergie. Ainsi, il devrait y avoir des passages de culture moins nombreux ou plus rapides à une profondeur moindre que dans le cas d'un labour normal, ce qui donne un système de travail du sol minimum. Alternativement, les cultures peuvent être complètement évitées par semis direct. Les avantages environnementaux de ces systèmes comprennent la réduction de l'érosion des sols, du lessivage des nitrates et de la consommation de carburant, l'augmentation de la matière organique du sol et l'amélioration de la structure du sol (Bruce Ball, Ian Bingham., 2003).

Les systèmes agricoles sans labour en tant qu'aspect de l'agriculture de conservation, sont activement promus au niveau international pour conserver les sols et ainsi assurer la sécurité alimentaire, la biodiversité et la conservation de l'eau. Au lieu de labourer avant le semis, les graines sont déposées directement dans le sol en ouvrant une tranchée ou une bande à fentes étroites. Le semis direct peut réduire considérablement l'érosion des sols et conserver l'eau dans les sols. Ceci est considéré comme une base pour des rendements de cultures plus élevés et plus stables - mais la science montre que ce n'est pas nécessairement vrai (Ginigaddara ,n.d. 2008).

Selon Obsa Adugna (2019), le travail du sol affecte l'utilisation durable des ressources du sol par son influence sur les propriétés du sol. Une utilisation appropriée du travail du sol peut améliorer les contraintes liées au sol, tandis qu'un travail du sol inapproprié peut entraîner une

## **Partie bibliographique**

série de processus indésirables. Il a été rapporté que les techniques de conservation, comme l'absence de travail du sol, améliore les propriétés du sol. Ainsi, l'étude a été réalisée au centre de recherche agricole d'Assosa pour évaluer les effets du travail du sol et du système de culture sur les propriétés physiques du sol et la conservation de l'humidité in situ. Dix-huit parcelles expérimentales de ruissellement de 8 m de long et 3 m de large chacune ont été encadrées de tôles ondulées. Le dispositif expérimental utilisé est un plan en blocs complets randomisés (RCBD) avec six traitements en combinaisons factorielles vis-à-vis de trois systèmes de culture (maïs, soja et association maïs-soja), avec système de travail du sol (labour minimum et conventionnel), qui ont été répétés trois fois. La densité apparente sous labour conventionnel a diminué de 0,3 g/cm<sup>3</sup>, 0,3 g/cm<sup>3</sup> et 0,23 g/cm<sup>3</sup> et l'humidité in situ retenue sous labour conventionnel a diminué de 9,83 % (18 mm), 11,3 % (21 mm) et 7,76 % (14,63 mm) par rapport au non-labour avec des traitements de paillage pour le maïs, le soja et les cultures intercalaires maïs-soja respectivement. Ces résultats illustrent la capacité de conservation de l'eau du non-labour avec paillis (agriculture de conservation) par rapport au labour conventionnel.

### **3.1.2 Travail minimum du sol**

Selon Stank Tarkowska, et al, (2018) qui a étudié les effets du travail du sol minimum et conventionnel sur les propriétés du sol sous blé d'hiver. La teneur en carbone organique du sol, la teneur en eau et la densité apparente dans les couches 0-5 et 5-10 cm étaient plus élevées en travail minimum du sol qu'en travail traditionnel du sol. Les rendements du blé étaient positivement corrélés avec les précipitations, la teneur en eau du sol et le carbone organique du sol.

Selon Mitchal J, et al, (2004), les opérations de travail du sol dans la production de légumes représentent généralement des coûts de temps, d'énergie, d'équipement et de main-d'œuvre considérables qui représentent souvent plus de 25 % des budgets de production globaux avant la récolte. Dans un effort pour contrôler les coûts et optimiser la gestion des sols, une large gamme de systèmes de production de légumes à travail du sol réduit ou minimum est efficace.

Des alternatives de travail du sol réduit ou de travail minimum du sol ont été développées et utilisées avec succès pour produire une large gamme de cultures maraîchères dans les vallées centrales et salines. Le développement de ces systèmes a été stimulé principalement par le désir de réduire les coûts de production et de diminuer le temps nécessaire pour labourer entre les cultures ou pour incorporer une culture de couverture d'hiver (Mitchal J, et al, 2004).

### **3.1.3 Travail du sol conventionnel**

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

Selon Kovac et al. (2005), l'humidité du sol a été influencée de manière très significative par ordre d'importance selon la date d'échantillonnage, l'année, les cultures en croissance, les traitements de travail du sol, la profondeur du sol et les interactions. Le sol soumis à un travail du sol conventionnel avait une teneur en humidité significativement plus élevée que les traitements testés avec travail du sol réduit, du paillis et du non-labour. L'influence significative du peuplement de maïs sur un meilleur état d'humidité du sol (16,35%) par rapport aux cultures cultivées en assolement (en moyenne 14,10%) a été constatée.

### **3.2 Effet sur la masse volumique et résistance pénétrométrique**

Les variables les plus couramment utilisées pour évaluer la résistance du sol dans les études de travail du sol sont la densité apparente et la résistance pénétrométrique ( $R_p$ ). Elles sont interdépendantes et l'utilisation d'une seule de ces variables peut conduire à des résultats biaisés (Campbell et Henshall, 1991).

La densité apparente est inversement proportionnelle à la porosité totale (Carter et Ball, 1993), ce qui nous donne une idée de l'espace poreux laissé dans le sol pour le mouvement de l'air et de l'eau. La densité apparente optimale pour la croissance des plantes est différente pour chaque sol. En général, une densité apparente faible (porosité élevée) entraîne une mauvaise circulation de l'eau, et une densité apparente élevée (faible porosité) réduit l'aération et augmente la résistance à la pénétration, limitant la croissance des racines (Cassel, 1982).

La densité apparente est liée aux caractéristiques naturelles du sol telles que la texture, la matière organique, la structure du sol (Cassel, 1982 ; Chen *et al.*, 1998) et la teneur en gravier (Franzen *et al.*, 1994), et varie au cours de l'année en raison de l'action de plusieurs processus : gel et dégel (Blevins *et al.*, 1983 ; Unger, 1991), décantation par dessiccation et énergie cinétique des précipitations (Cassel, 1982), et déchaussement par action racinaire et activité animale. Les opérations culturales, en particulier le travail du sol, peuvent également modifier la densité apparente du sol.

## **Partie bibliographique**

L'un des objectifs du travail du sol est de réduire la densité apparente (augmenter la porosité du sol). Cet effet du travail du sol sur la densité apparente est temporaire et, après le travail du sol, le sol se tasse rapidement, retrouvant son ancienne densité apparente (Hernanz et Girón, 1988 ; Campbell et Henshall, 1991 ; Franzen *et al.*, 1994 ; Franzluebbbers *et al.*, 1995). Au cours des premières années de non-labour, la densité apparente du sol peut augmenter en raison des passages répétés du tracteur et de l'absence d'action d'assouplissement du travail du sol.

De nombreuses expériences réalisées pour comparer le non-labour avec d'autres systèmes de conservation ou de travail du sol plus conventionnel ont donné des résultats différents. Dans la plupart d'entre eux, la densité apparente était plus élevée en non-labour dans les 5 à 10 premiers cm de sol (Ehlers, *et al.*, 1983; Pelegrin *et al.*, 1988; Radcliffe *et al.*, 1988; Hammel, 1989; Hill, 1990 ; Campbell et Henshall, 1991 ; Grant et Lafond, 1993 ; Rhoton *et al.*, 1993 ; Franzen *et al.*, 1994 ; Hubbard *et al.*, 1994 ; Franzluebbbers *et al.*, 1995 ; Unger et Jones, 1998 ; Tebrügge et Düring, 1999 ; Wander et Bollero, 1999). Dans d'autres études recensées, aucune différence de densité apparente n'a été trouvée entre les systèmes de travail du sol (McCalla et Army 1961 ; Cassel, 1982 ; Blevins *et al.*, 1983 ; Burch *et al.*, 1986 ; Blevins et Frye, 1993 ; Taboada *et al.*, 1998 ; Arshad *et al.*, 1999 ; Logsdon *et al.*, 1999 ; Ferreras *et al.*, 2000 ; Logsdon et Cambardella, 2000). Dans un troisième groupe, la densité apparente a même diminué en régime sans labour (Moran *et al.*, 1988 ; Pikul et Asae, 1995 ; Edwards, 1996 ; Crovetto, 1998), surtout lorsqu'une augmentation de la matière organique a été observée dans la première couche du sol (Edwards, 1996 ; Crovetto, 1998).

En raison de l'augmentation progressive de la densité apparente après le travail du sol, la différence entre le conventionnel et le non-labour diminue à mesure que le temps écoulé depuis le travail du sol augmente. Dans certains sols, la porosité sans travail du sol diminue au cours des premières années jusqu'à ce que le sol retrouve sa structure naturelle (Kinsella, 1995).

Les facteurs les plus importants affectant la résistance à la pénétration ou l'indice de cône du sol sont la teneur en eau du sol et la densité apparente (Cassel, 1982 ; Hamblin, 1985 ; Bradford, 1986 ; Klepper, 1990 ; Campbell et O'Sullivan, 1991 ; Unger et Jones, 1998 ; Feddal, 2008 ; Feddal *et al.*, 2015 ; Mebarki *et al.*, 2020). La texture, la matière organique, la rugosité de la surface des particules (Cassel, 1982, Campbell et O'Sullivan, 1991) et la structure (Bradford, 1986; Campbell et O'Sullivan, 1991) peuvent également engendrer une résistance à la pénétration différente dans différents sols ou dans différentes couches du même sol.

La résistance à la pénétration augmente avec la profondeur en raison de l'augmentation du frottement de la tige du pénétromètre (Bradford, 1986 ; Campbell et O'Sullivan, 1991 ; Franzen *et al.*, 1994), et les valeurs des différentes profondeurs sont corrélées entre elles (Stelluti *et al.*,

## **Partie bibliographique**

1988 ; Campbell et O'Sullivan, 1991). Yasin *et al.* (1993) ont trouvé une relation polynomiale entre l'indice du cône et la profondeur.

Dans plusieurs études comparant des sols labourés et non labourés, une plus grande résistance à la pénétration a été constatée dans les sols sans labour, en particulier dans les premiers 10 cm (Ehlers *et al.*, 1983 ; Radcliffe, 1988 ; Hammel, 1989 ; Hill, 1990 ; Pelegrin *et al.*, 1990 ; Agenbag et Maree, 1991 ; Grant et Lafond, 1993 ; López *et al.*, 1996 ; Wander et Bollero, 1999 ; Ferreras *et al.*, 2000). Franzen *et al.* (1994) ont observé des valeurs d'indice de cône significativement plus faibles sans travail du sol jusqu'à une profondeur de sol de 10 cm en raison du paillage. En ce qui concerne la densité apparente, les différences entre le non-labour et les méthodes plus conventionnelles de travail du sol avec perturbation du sol sont importantes peu de temps après les opérations de travail du sol, mais diminuent rapidement pendant la saison de croissance et peuvent disparaître à la fin (Pelegrin *et al.*, 1990 ; Franzen *et al.*, 1994 ; Lopez *et al.*, 1996).

Le système de travail du sol affecte non seulement la résistance à la pénétration, mais également ses variables associées : la teneur en eau du sol et la densité apparente. Pour cette raison, certains chercheurs ont essayé de séparer l'effet direct du travail du sol sur l'indice de cône de son effet indirect à travers l'effet sur la teneur en eau et la densité apparente de différentes manières afin de permettre de meilleures comparaisons. Campbell et O'Sullivan (1991), ont proposé de mesurer à la capacité au champ et de mesurer simultanément la densité apparente. Busscher et al. (1997) ont ajusté différentes fonctions pour corriger les valeurs d'indice de cône à partir de la teneur en eau. D'autres ont utilisé l'analyse de covariance pour réduire l'effet de la teneur en eau et de la densité apparente dans les comparaisons d'indices de cône (Yasin *et al.*, 1993 ; Franzen *et al.*, 1994). Après correction, la dépendance de l'indice de cône de ces variables est réduite (Busscher *et al.*, 1997).

### **3.3 Impact des techniques de travail du sol sur l'enracinement du blé et lentille**

#### **3.3.1 Influence des propriétés du sol sur l'enracinement**

Il semble bien qu'à côté d'une tendance spécifique héréditaire, l'enracinement des végétaux dépende d'une façon sensible des propriétés du sol, ces dernières sont fortement modifiées par le travail du sol.

Les propriétés physiques paraissent les plus importantes mais les propriétés chimiques joueraient également un rôle. Ainsi l'hydromorphie limite l'extension en profondeur des racines d'Épicéa (Holstener-Jorgensen, 1982) et d'Érable à sucre (Fayle, 1995) en particulier.

## *Partie bibliographique*

Selon Richard G. 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 apportent de l'eau et des substances nutritives à la culture. Un système racinaire bien développé est le résultat d'une bonne structure du sol et est essentiel pour un rendement élevé.

D'une manière générale, la texture du sol influence l'enracinement des plantes, il est généralement admis que la croissance des racines est favorisée par une texture grossière (Callot, 1988).

Par ailleurs, des observations sur le blé ont permis de constater que l'influence de la texture ne s'exerce pas seulement sur l'élongation des racines, mais également sur la rhizogénèse, c'est – à-dire l'émission des racines qui influencent bien entendu la longueur totale du système racinaire des jeunes plants de blé. En début de tallage, l'élongation des racines principales et secondaires est favorisée par une texture sableuse. (Feddal, 2011).

les racines ne pénètrent lorsque la structure du sol est dégradée, que peu ou pas dans les zones compactées. Leur géotropisme positif (croissance guidée par la pesanteur) fait que le sol sous jacent est très peu exploré (Girard et al., 2005). L'état structural du sol, et celui de la couche labourée en particulier, influence donc fortement la densité de racines et par conséquent le volume de sol prospecté. Il conditionne beaucoup les possibilités d'alimentation hydrique et minérale des plantes. Le volume exploré est particulièrement important pour l'alimentation en phosphore et potassium.

La qualité et l'intensité de ces deux derniers paramètres sont étroitement liées et même déterminées par la qualité des opérations de travail du sol. La technique culturale choisie, soit la technique classique avec retournement du sol, les techniques sans labour ou le semis direct agiront de différentes façons sur la structure et la porosité du sol (Amara et al., 2014).

Pour ce qui est de l'influence de l'eau dans le sol, d'une manière générale, l'humidité commande la croissance des racines ; si l'excès est néfaste car il y a risque d'asphyxie, c'est à un taux d'humidité voisin de la capacité au champ que s'observent les meilleurs résultats (Jaillard et Luc, 1979).

A l'effet alimentaire de l'eau, qui agit comme transporteur d'éléments nutritifs, s'ajoute son action sur la diminution de cohésion du sol qui contribue à favoriser l'élongation des racines. Les racines semblent se diriger vers les endroits où l'eau est plus facilement utilisable, à condition de ne pas en être séparées par une couche sèche. (Jaillard et Luc, 1979).

## **Partie bibliographique**

Une faible porosité et un manque d'aération s'opposent au développement des racines de diverses espèces (Kramer, 1996 ; Kreutzer, 1991) ainsi une porosité inférieure à 40 % arrête la croissance des jeunes plants d'Epicéa (Leibungut et al, 1993).

Callot et al.,1998, affirment que dans le cas de la fléole cultivée en vases de végétation on peut avoir constater que de faibles variations de porosité, de 40 à 45% étaient suffisantes pour modifier considérablement l'enracinement, passant respectivement de 1,3 à 2,10 grammes de racines sèches par kilogramme de sol.

### **3.4 Impact des techniques de travail du sol sur les rendements du blé et lentille**

#### **3.4.1 Influence de l'enracinement sur le rendement**

Le niveau de Production d'une culture donnée est la résultante de la disponibilité des différents éléments nécessaires à la croissance de la plante ; cependant la technique utilisée pour la mise en place de la culture influe indirectement sur le potentiel productif de la plante.

Plusieurs travaux signalent que le travail réduit et le système semis direct sont généralement moins productifs en comparaison au travail conventionnel. En effet une 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).

Nicou et Chopart, (1972) ont pu montrer qu'il existait des corrélations positives entre le poids total de racines ou la densité racinaire par horizon (g/dm<sup>3</sup>) et les rendements en arachide, maïs, sorgho, riz pluvial. Pour augmenter les rendements il est nécessaire de favoriser la croissance racinaire en particulier dans l'horizon 0-30cm. Cela semble être une règle générale pour les sols sablo-argileux en surface et peut s'expliquer par le fait que dans ces sols la réserve en eau est faible et un enracinement profond est nécessaire pour assurer l'alimentation hydrique et minérale des cultures.

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

### **Conclusion à la bibliographie**

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

Les résultats décrits montrent que l'adoption des techniques culturales simplifiées modifie les caractéristiques de la structure du sol à l'échelle macroscopique et microscopique. L'état du sol à mettre en place doit, de ce fait, tenir compte de ces différents facteurs et les modifications qui affecteront la structure du sol doivent permettre une bonne croissance des racines afin de fournir à la plante l'eau et les éléments nutritifs qui lui sont indispensables. Il serait donc nécessaire de donner une importance au choix des techniques à mettre en place.

D'après les études menées en Algérie ces dix dernières années, le semis direct semble montrer ses limites notamment pour le nord algérien, à causes de ses inconvénients d'ordre techniques (semoirs de semis direct), pédologiques (sol), économiques (cout) et environnementales (pollution par pesticides). C'est dans ce contexte, qu'un nouveau semoir de semis direct "Boudour" a été fabriqué par le complexe machines agricoles de Sidi Bellabes, et mis en place afin de répondre aux exigences techniques et pédologiques de la céréaliculture algérienne.

L'objectif de cette thèse est de suivre au cours des premières années d'application de différentes techniques de travail du sol (travail conventionnel, minimum, semis direct avec le nouveau semoir Boudour, ainsi que le semis direct utilisant le semoir australien John Shearer), les mesures de densité apparente, de porosité, d'humidité, de résistances pénétrométrique, et d'enracinement du blé dur et lentille ainsi que leur rendement.

# ***PARTIE***

# ***EXPÉRIMENTALE***



**CHAPITRE 04 :**

**ANALYSE DE L'EFFET DE**

**QUATRE TECHNIQUES DE**

**TRAVAIL DU SOL SUR LE**

**COMPORTEMENT PHYSICO-**

**MÉCANIQUE DU SOL ET**

**CONSÉQUENCES SUR LE**

**DÉVELOPPEMENT DE DEUX**

**CULTURES (BLÉ DUR ET**

**LENTILLE), DANS UNE ZONE**

**SEMI-ARIDE.**

### **Introduction à l'expérimentation**

Pour mettre en évidence les effets des différentes techniques de préparation du sol sur le sol, les racines et rendement du blé et lentille, on a eu recours à des expérimentations dans différentes zones climatiques, qui visent à analyser les effets des différentes techniques culturales (travail conventionnel, minimum, semis direct avec le nouveau semoir boudour, ainsi que le semis direct utilisant le semoir australien John Shearer), sur les propriétés physico-mécaniques du sol (humidité, la densité apparente, la porosité, la résistances pénétrométrique, le développement racinaire, ainsi que la croissance et le rendement du blé dur et lentille).

La partie expérimentale s'articule en deux chapitres :

Le chapitre 4 a porté sur une analyse de l'effet de quatre techniques de travail du sol sur le comportement physico-mécanique du sol et conséquences sur le développement de deux cultures (blé dur et lentille), cette étude a été menée dans une zone semi-aride à savoir Setif, durant trois campagnes agricoles.

Le chapitre 5 pour sa part, a porté sur une analyse du comportement physico-mécanique du sol sous la succession de trois chaînes d'outils aratoires, et conséquences sur l'enracinement du blé dur. Cette étude a été réalisée à la station expérimentale de l'école nationale supérieure agronomique d'El Harrach durant une campagne agricole. Ce chapitre sera présenté sous forme d'article scientifique qui a été publié en 2021 dans la revue ALJEST.

**Chapitre 04 : Analyse de l'effet de quatre techniques de travail du sol sur le comportement physico-mécanique du sol et conséquences sur le développement de deux cultures (blé dur et lentille), dans une zone semi-aride.**

### **3.1 Présentation du site expérimental**

#### **3.1.1 Situation géographique**

L'expérimentation a été réalisée durant les campagnes agricoles 2018/2019, 2019/2020, 2020/2021, au sein de la station expérimentale de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) de Sétif, au lieu dit R'MADA dans la commune de MEZLOUG, daïra de Ain Arnat, à une altitude de 1080 m, à la latitude  $36^{\circ} 9' N$  et à la longitude  $5^{\circ} 21' E$ .



source :Googele earth(14/10/2019 à 02 :18)

**Figure 13:** Localisation de la zone d'étude

#### **3.1.2 Présentation des conditions climatiques de l'essai**

La wilaya à Sétif se caractérise par un climat continental semi-aride avec des hivers pluvieux et froids 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. Yachi, 2021 a également remarqué que pendant cette période, les vents d'ouest et du nord-ouest

## Partie expérimentale

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 d'incendies. Année après année, les précipitations sont irrégulières et inégalement réparties.

Selon les relevés pluviométriques de la situation météorologique de Sétif comme le montre le tableau 7 le total des précipitations enregistré durant la campagne agricole 2019/2020 jusqu'au mois de mai est 349,86 mm avec une bonne répartition variée dans le temps, pour la période allant de septembre à avril. Deux périodes humides s'étalent du mois de septembre jusqu'au mois de décembre et les mois de mars et avril. On observe que le mois de novembre a été le mois le plus pluvieux avec (90.2 mm), Le mois d'avril était pluvieux (66 mm) qui a coïncidé avec le stade fin montaison et épiaison, contrairement au mois de février qui coïncide avec le stade fin tallage et début montaison n'a pas été pluvieux (absence totale de pluie).

**Tableau 7: La pluviométrie mensuelle (mm) de la campagne 2019/2020.**

Mois	sep	oct	nov	dec	jan	fev	mar	avr	mai	juin	Juillet	Août	Total
Pluviométrie (mm)	75,5	25,80	90,2	21.4	12,8	00	51,56	66	6,6	32.88	10.80	27.7	410.44

Source : ONM, Aéroport de Sétif (2019/2020)

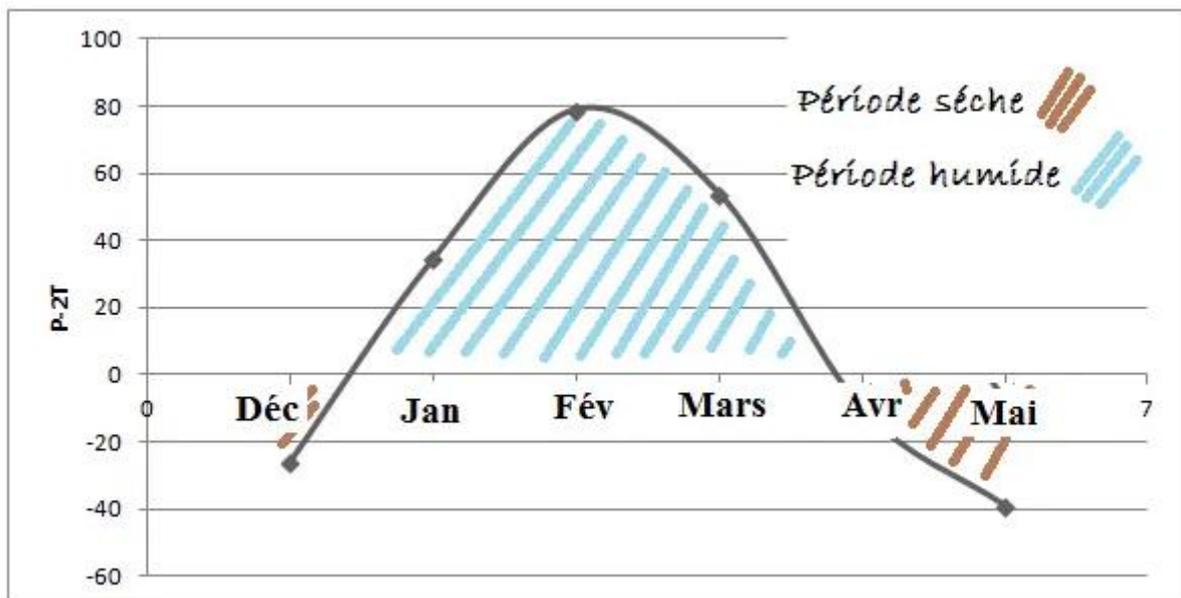
**Tableau 8: Relevé des températures mensuelles enregistrées durant la campagne agricole 2019-2020 dans la station expérimentale de l'ITGC de Sétif.**

Mois	Tmin (°C)	Tmoy (°C)	Tmax (°C)
Sep	15.40	21.65	27.90
Oct	10.30	16.20	22.10
Nov	4.2	8.1	12.4
Dec	3.7	7.9	12.8
Jan	0.3	5.3	11.1
Fev	1.9	8.9	16.8
Mar	4.3	9.3	14.8
Avr	8	13.2	19.3
Mal	11.8	19.2	26.6
Juin	14	21.5	29
Juillet	18	25.5	33

Source: ONM, Aéroport de Sétif, (2019/2020)

## Partie expérimentale

La figure ci-dessous, représente la pluviométrie enregistrée durant les campagnes agricoles 2018/19, 2019/20, la figure ci dessous représente le climatogramme de la campagne d'essai :



**Figure 14 :** Climatogramme de la campagne d'essai **source : echcherki 2019**

D'après ce climatogramme il apparait qu'il y a eu une période humide de janvier jusqu'à la fin avril, et deux périodes sèches, une en mois de décembre et l'autre avril-mai. La première période sèche a causé le retardement du semis, alors que la deuxième s'est répercuté sur le stade remplissage des grains des céréales.

### 3.1.3 Caractéristiques pédologiques des parcelles d'essais

Le sol du site expérimental appartient à la classe des sols alluviaux. Le profil pédologique montre que le sol est légèrement profond (40-70 cm) en présence d'une dalle calcaire très proche de la surface.

Le sol est caractérisé par une légère pente (3%) et présente des cailloux en surface. Les caractéristiques physicochimiques sont mentionnées dans le tableau suivant :

**Tableau 9 :** Caractéristiques physico-chimiques du sol d'étude.

Paramètres	Horizon 1 (H <sub>1</sub> )	Horizon 2 (H <sub>2</sub> )
<b>Répartition de la taille des particules du sol</b>		
<0.002 mm (Argile %)	35.72	
0.002-0.05 mm (Limon %)	37.82	

## Partie expérimentale

> 0.05 mm (Sable %)	26.45	
CaCO <sub>3</sub> (%)	21.56	26.99
pH <sub>(eau)</sub>	7.44	7.45
Capacité d'échange cationique CEC (mEq.100g <sup>-1</sup> )	24.58	24.41
Matière organique MO (%)	1.8	1.22
Carbone organique CO (%)	1.04	0.70
Azote organique N (%)	0.22	0.198
Capacité au champ du sol (%)	<b>38.5</b>	
Point de flétrissement (%)	<b>21.5</b>	
Humidité du sol en 26 Décembre 2019 (%)	<b>30.23</b>	
Humidité du sol en 19 Avril 2019 (%)	<b>25</b>	
Rapport C/N	4.72	3.68

source: (Bentayeb. 2019).

Pour interpréter les analyses du sol de l'exploitation, nous avons utilisé le système intégré d'analyse et de recommandation de fertilisation SIDDRA d'Espagne de Fertiberia pour le cas d'une céréale et légumineuse.

Le Système intégré de diagnostic et de recommandation d'engrais (Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación de Abonado, SIDDRA) est une application informatique appartenant en propre à Fertiberia et qui, moyennant l'interprétation des résultats obtenus dans des analyses préalables, permet à nos techniciens d'effectuer des recommandations d'engrais de façon extrêmement précise et fiable.

La figure suivante représente l'ensemble des moyennes des résultats d'analyse du sol interprétées par le système SIDDRA sur les deux horizons.

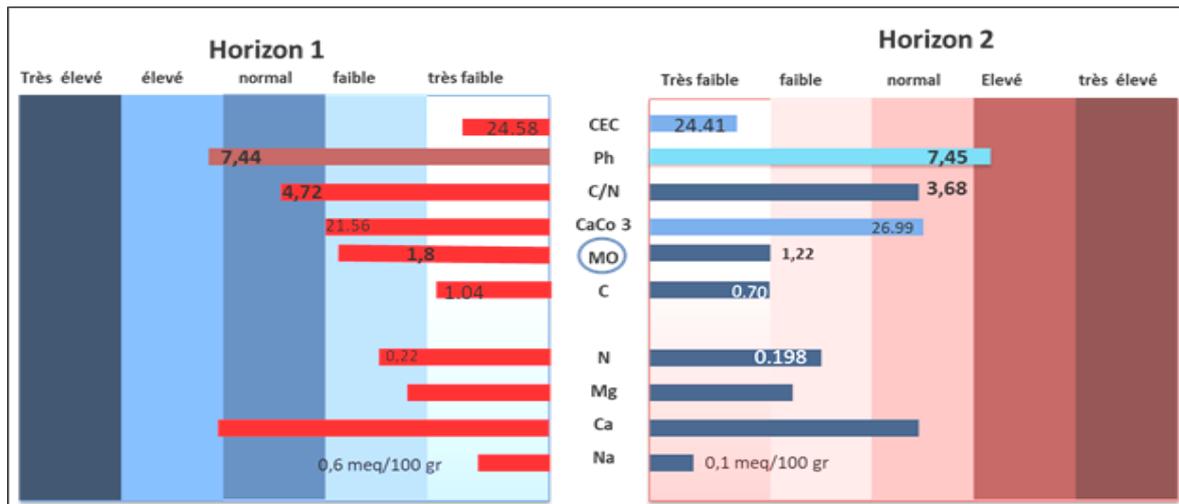


Figure 15 : Les propriétés chimiques du sol sur le système SIDDRA.

source: (Bentayeb. 2019).

### 3.2. Matériel et méthodes

#### 3.2.1. Présentation du protocole expérimental

##### 3.2.1.1. Le dispositif expérimental

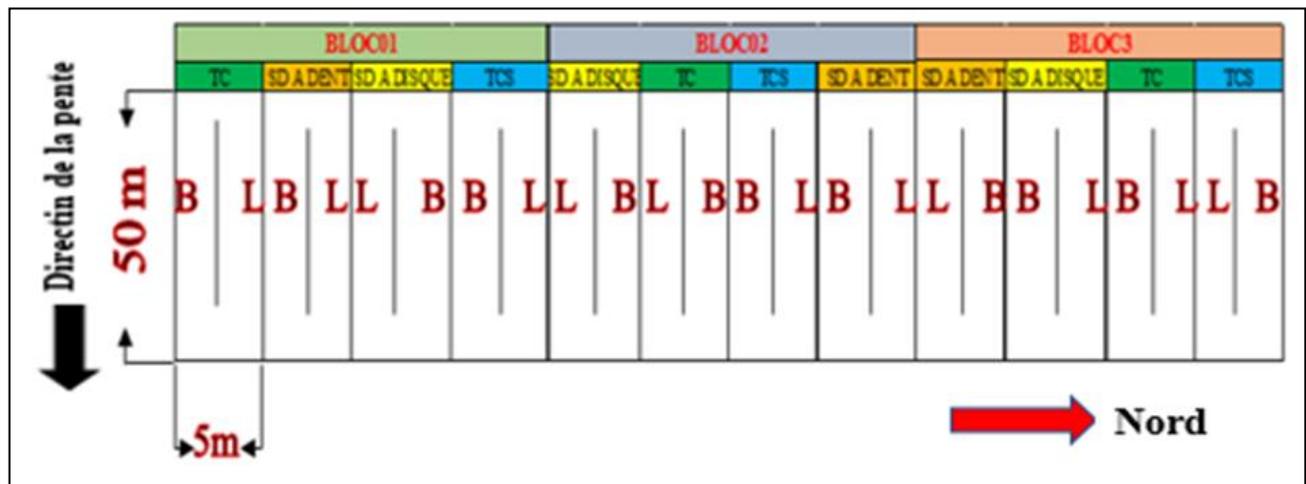
Le dispositif expérimental adopté est un dispositif en bloc à un seul facteur, avec trois répétitions, comporte quatre niveaux :

- **Niveau 1** : le travail conventionnel (TC):
- **Niveau 2** : le travail minimum ou technique culturale simplifié (TCS);
- **Niveau 3** : le semis direct (SD) avec un semoir de semis direct à disque JONH SHEARER:
- **Niveau 4** : le semis direct avec un semoir de semis direct à dent SOLA-BOUDOUR :

De fait, nous avons 3 blocs, chaque bloc contient 4 traitements.

Le matériel végétal a été semé sur une parcelle homogène de 250 m<sup>2</sup>. La parcelle est divisée en parcelles parallèles (Parallèle plots), organisée en trois répétitions, chaque répétition a été divisée en quatre traitements. La dimension de l'unité expérimentale est de 250 m<sup>2</sup> (50 m x 5 m). 0,5 m est la distance entre les unités expérimentales.

- B → parcelle semée par le blé dur.
- L → parcelle semée par la lentille.



**Figure 16:** le dispositif expérimental adopté

### 3.2.1.2. Les techniques de travail du sol étudiées

Quatre techniques de travail du sol qui diffèrent par le degré de fragmentation de la couche arable, par l'effet de retournement ou non de la couche de sol travaillée, par leur degré de mélange de la matière organique au sol et par le tassement du sol qu'ils engendrent ont été comparées sur le site expérimental :

- Travail conventionnel (labour traditionnel) ;
- Travail du sol réduit ou travail minimum ;
- Semis direct avec semoir BOUDOUR ;
- Semis direct avec semoir John Shearer.

#### a) Travail conventionnel

Ce traitement qui retourne et mélange les horizons de sol sur une profondeur de 30 cm a été réalisé à l'aide d'une charrue à soc le 25/10/2018. Cette modalité sert de référence, c'est la pratique la plus répandue chez les agriculteurs algériens surtout les céréaliers (recensement 2011 du MADRP) qui labourent à une profondeur assez importante quand le type de sol le permet. Elle permet d'enfouir les résidus de cultures, les cultures intermédiaires et les amendements organiques sur la profondeur de labour, de limiter le développement des ravageurs, pathogènes et adventices, et d'ameublir le sol. Le labour traditionnel (5-7 km/h) est effectué avec une charrue bisocs simple. Le labour a été suivi d'une ou plusieurs opérations de reprise avec un pulvérisateur (cover crop) croisé le 03/12/2018, un vibroculteur pour les travaux superficiels et un rouleau après le semoir le 12/12/2018.

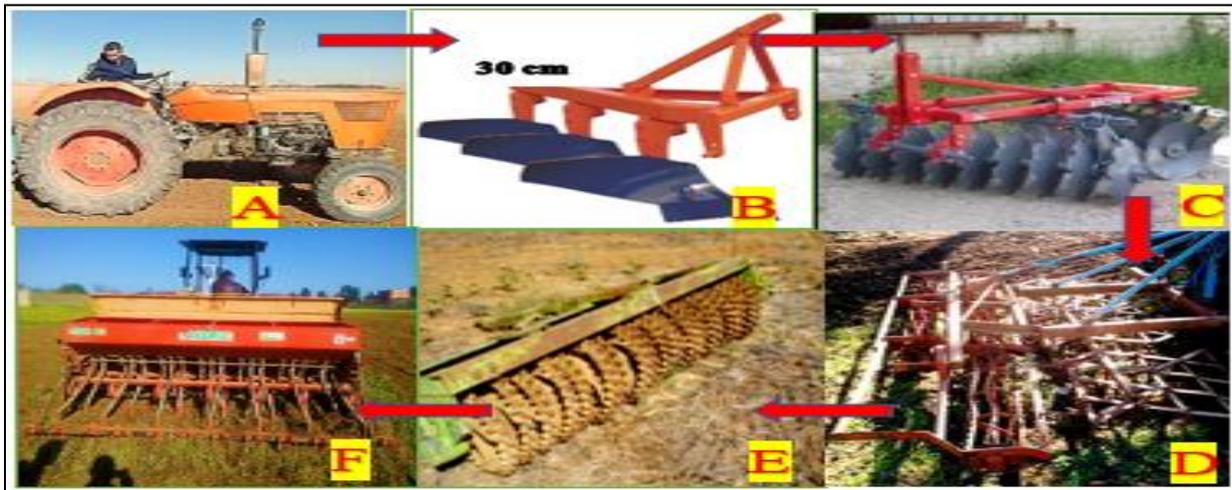


Figure 17 : chaine d'outils de technique conventionnelle.

**b) Travail réduit du sol ou Travail Minimum (TM)**

Le travail minimum du sol, qui diffère par le labour par le non retournement du sol, est réalisé par un passage de chisel suivi d'un vibroculteur et un rouleau le 12/12/2018, et d'un Semoir en lignes conventionnel de trois mètres, avec un écartement entre les lignes de 16 cm.

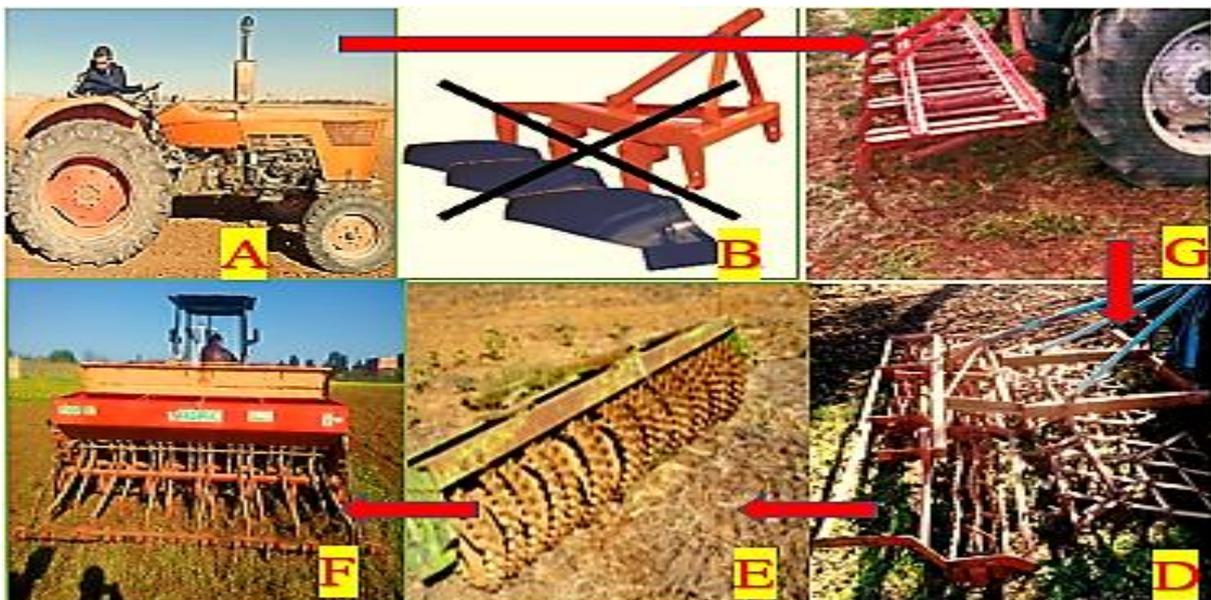


Figure 18 : Chaine d'outils du TM

## Partie expérimentale

Symbole	Outil ou machine	Caractéristiques
A	Tracteur	<p>Pour réaliser nos essais, on a travaillé avec un tracteurs CIRTA de type « C 6006 » ayant les caractéristiques techniques suivantes :</p> <p><b>Moteur Diesel de type F4L912</b></p> <p><b>Puissance : 46 kW/62 cv</b></p> <p><b>Nombre de cylindre : 4</b></p> <p><b>Régime de prise de force : 540 tr/min</b></p> <p><b>Consommation spécifique : 167 g/kWh</b></p> <p><b>Empattement : 2.15 m</b></p> <p><b>Poids total à vide : 2550 kg</b></p>
B	Charrue à soc	<p>Les caractéristiques techniques :</p> <p><b>Type d'attelage : Portée</b></p> <p><b>Nombre de socs : 2</b></p> <p><b>Profondeur de travail : 15 à 30 cm</b></p> <p><b>Largeur de travail : 75 cm</b></p> <p><b>Poids : 480 kg</b></p>
C	Cover crop	<p>Les caractéristiques techniques :</p> <p><b>Type d'attelage : traîné</b></p> <p><b>Nombre de disque par train : 10</b></p> <p><b>Profondeur de travail : 10 à 15 cm</b></p> <p><b>Largeur de travail : 140 cm</b></p> <p><b>Diamètre des disques : 56 cm</b></p> <p><b>Poids : 310 kg</b></p>

## Partie expérimentale

<b>D</b>	<b>Vibroculteur</b>	Les caractéristiques techniques : <b>Type d'attelage</b> : Porté <b>Nombre de dents</b> : 26 <b>Profondeur de travail</b> : 12 cm <b>Largeur de travail</b> : 265 cm
<b>E</b>	<b>Rouleau crosskill</b>	Les caractéristiques techniques : <b>Type d'attelage</b> : traîné <b>Largeur de travail</b> : 2 m <b>Diamètre du grand disque</b> : 60 cm <b>Diamètre du petit disque</b> : 40 cm
<b>F</b>	<b>Semoir en ligne</b>	<b>Type d'attelage</b> : traînée. <b>Nombre d'éléments distributeurs</b> : 19 <b>Largeur de travail</b> : 300 cm. <b>Système de distribution mécanique</b> : à ergots. <b>Ecartement entre deux organes d'enterrage</b> : 17 cm.
<b>G</b>	<b>Chisel</b>	Les caractéristiques techniques : <b>Type d'attelage</b> : Portée <b>Nombre de dents</b> : 6 <b>Profondeur de travail</b> : 25 à 35 cm <b>Largeur de travail</b> : 186 cm <b>Ecartement entre dents</b> : 38 cm <b>Poids</b> : 640 kg

### c) Semis direct

#### ➡ A dent :

Aucun travail du sol n'a été effectué avant le semis, le semis s'est fait directement avec un semoir spécial de type SOLA- BOUDOUR a dents à espacement 18cm entre les lignes et une largeur de travail de 2.4m.

#### ➡ A disque :

Le semoir en ligne JOHN SHEARER, est un semoir en ligne, équipé d'un système d'ouverture à disque, le système de recouvrement des roues caoutchouté sur des jantes métallique, l'inconvénient de ce système c'est la durée de vie réduite à cause de la corrosion des sol.

<p><b>Semoir à dent SOLA-CMA BOUDOUR</b></p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Système d'attelage :Porté</li><li>• Largeur : 2,5 m</li><li>• Nombre Trémie :2 trémies combinées</li><li>• Nombre d'éléments semeurs :14 dents rigides</li><li>• Ecartement / : 18cm</li><li>Recouvrement : Herse</li></ul>	 <p><b>Figure 19</b> : semoir a dent SOLA.Boudor</p>
--	---	---

## Partie expérimentale

<p><b>Semoir à disque JONH SHEARER.</b></p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Système d'attelage : Porté</li><li>• Largeur : 2,5 m</li><li>• Nombre Trémie : 2 trémies combinées</li><li>• Nombre d'éléments semeurs : 14</li><li>• Ecartement / : 18cm</li><li>• Recouvrement : Disque</li></ul>	 <p><b>Figure 20:</b> semoir a disque JONH SHEARER.</p>
<p><b>Tracteur JOHN DEERE 5090M</b></p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Puissance nominale du moteur À 2 200 tr/min selon ISO 97/68/CE : 66,6 kW</li><li>• Cylindrée du moteur 4 cylindres : 4,5 L</li><li>• Puissance nominale de prise de force (CV SAE) À 2 100 tr/min par SAE : 55,9 kW, 75 ch à la prise de force</li><li>• Empattement : 2,5 m</li></ul>	 <p><b>Figure 21 :</b> Tracteur JOHN DEERE 5090M</p>

### 3.2.1.3. Mise en place de culture

La mise en place du blé dur a été réalisée le 18/12/2018, pour toutes les parcelles (TC, TM, Boudour, JS), à une profondeur de 3-4 cm. Par contre, la mise en place de la lentille s'est faite le 25/12/2019 a une profondeur de semis de 2-3 cm.

L'ITGC de la zone d'étude a préconisé la dose de semis appliquée, pour les quatre traitements, s'élève à 140 kg/ ha, afin de permettre l'obtenir une densité de semis de 300 graines/ m<sup>2</sup> comme préconisée dans la zone centre du Sétif par rapport à la culture de blé. Pour la culture de lentille la dose de semis est de 120 kg/ha.

Pour les spéculations choisies, nous avons mis en place le blé dur (*Triticum durum*, Desf) (Variété Bousselam) et la lentille (variété Syrie 229).

La variété Bousselam issue de croisement Heider/MT/Ho, de « International Center for Agricultural Research in the Dry Areas» (ICARDA). C'est une sélection de la ferme semencière ITGC (Sétif). C'est une variété de précocité intermédiaire entre Waha (précoce) et Mohamed ben Bachir (tardive). Elle est productive et mesure 90-100 cm de hauteur, possédant une PMG élevée. Son épi est demi-lâche, blanc, barbes noires et moyennement sensible à l'égrainage.

**Tableau 10:** Caractéristiques de la variété de blé.

Culture	Blé dur
Variété	Bousselam
L'origine	Croisement entre Waha (précoce) et Mohamed ben Bachir (tardive)
Rendement max	<60 Q /ha
Hauteur de tige	90-100 cm
PMG	Elevée (50 gr)
Teneur en protéine	Faible quantité <13%
Teneur en eau	7.4%

La variété *Syrie 229* est une sélection local sur population introduite de Syrie, les graines de cette variété sont arrondies de couleur vert-jaune, elle est de très bonne qualité culinaire

**Tableau 11** : Caractéristiques de la variété *Syrie 229*

<b>Caractéristiques locale</b>	<b>Lentille : variété Syrie 229.</b>
<b>Origine</b>	Sélection sur une population introduite de Syrie.
<b>Port</b>	Semi-érigé.
<b>Précocité</b>	Précoce.
<b>Végétation</b>	Vigoureuse.
<b>Nombre de gousses</b>	2 à 3.
<b>Nombre des grains</b>	1 à 2.
<b>Qualité culinaire</b>	Très bonne.

### 3.2.1.4. Fertilisation

L'engrais de couverture l'urée 46% a été épandu mécaniquement en deux apports ; le premier au stade trois feuille à raison de 50 kg et le deuxième a été réalisé au stade d'épi à un centimètre a raison de 50kg (soit de **27.5** unités d'azote).

**Tableau 12**: Dose et date de fertilisation.

Type d'engrais	Engrais utilisé	Dose (Kg/ ha)	Date
<b>Engrais de couverture</b>	Urée 46 %	50Kg / ha	Stade trois feuilles 12/03/2019
		50kg / ha	Stade épi un centimètre 14/04/2019

### 3.2.1.5. Désherbage

Afin d'éliminer l'ensemble des mauvaises-herbes de l'essai, l'opération de désherbage a été effectuée en deux passages pour le système semis direct et un seul passage pour le système conventionnel.

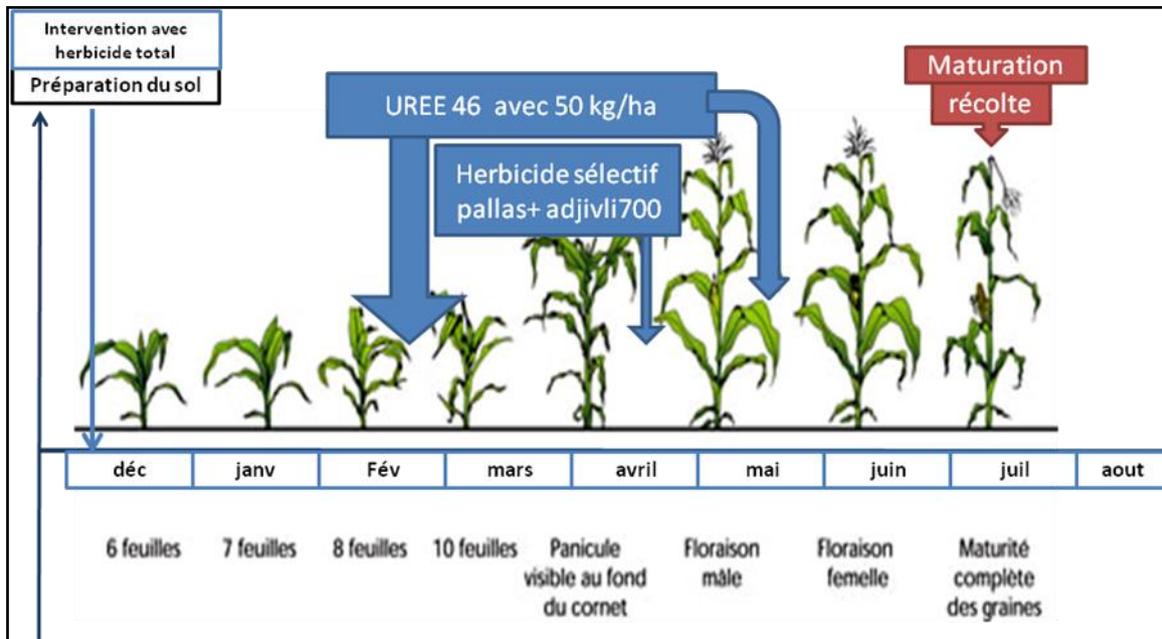
## Partie expérimentale

**Tableau 13:** Date et dose de désherbage

Système	Herbicide utilisé	Dose	Date
Semis direct	Herbicide total : Glyphosate	3 litres/ hectare	Avant semis 02/12/2019
	Double action : pallas+adjivli700	0.5 litre/ ha et 1L/ha	Après tallage 14/04/2019
Système conventionnelle	Double action : pallas+adjivli700	0.5 litre/ ha et 1L/ha	Après tallage 14/04/2019

<b>Pulvérisateur à jet projeté</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>❖ Capacité : 1000 L</li><li>❖ Nombre de buses : 16</li><li>❖ Largeur de travail : 8m</li><li>❖ Type de buses : à fentes</li><li>❖ Type : trainé</li><li>❖ Poids vide : 302 kg</li></ul>	 <p><b>Figure 22:</b> Pulvérisateur à jet projeté.</p>
------------------------------------	---	---

L'ensemble de l'opération culturale effectuée en expérimentations selon le stade phénologique de blé sont regroupés en figure suivante :



**Figure 23:** Les opérations agronomiques en fonction de stade phénologique de blé.

### 3.2.2. Méthodologie expérimentale

#### 3.2.2.1 Mesures des propriétés physico-mécaniques du sol

##### a) Déterminations de masse volumique du grain solide (masse volumique réelle)

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

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

Avec :  $\rho_s = P_s / V$  -----(1)

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

## Partie expérimentale

### b) Mesure de la densité apparente du sol ou masse volumique

La mesure de la masse volumique du sol ( $\rho$ ), est un indicateur du tassement du sol et de la porosité totale du sol. Elle a été mesurée sur toutes les microparcelles par la méthode du carottage : le cylindre de volume connu, dont l'extrémité a été aiguisée, est enfoncé de façon mécanique dans le sol (dans quatre horizons 0-5-15-20-25 cm) ; puis dégagé en creusant autour.

A partir de cette mesure nous en déduisons :

- La masse volumique du sol ( $\text{g/cm}^3$ ) est calculée selon l'équation :

$$\rho_{as} = \frac{M_s}{V_c} \text{-----(2)}$$

Avec :

$\rho_{as}$  : masse volumique apparente ;  $M_s$  : Masse de sol sec ; et  $V$  : volume du cylindre.

- La porosité totale (P) du sol exprimé en % :

$$n\% = 100 \times (1 - \rho_{as} / \rho_s) \text{-----(3)}$$

Où  $\rho_s$  est la masse volumique de solide du sol, estimée à  $2,43 \text{ g/cm}^3$  (Feddal, 2015) ;



**Figure 24:** Méthode de prélèvement du sol et de calcul de la densité apparente du sol

## Partie expérimentale

### c) Mesure de la résistance pénétrométrique du sol

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



**Figure 25:** Pénétromètre utilisé

Le but de l'utilisation du pénétromètre est la détermination de l'effort de résistance mécanique du sol à la pénétration afin de connaître par un suivi la contrainte qu'oppose le sol à la progression des racines tout au long de leur cycle de vie, et de ce fait l'incidence du travail du sol sur le développement du végétal. (Feddal, 2015).

La résistance mécanique du sol ne peut être déterminé sans l'étalonnage du pénétromètre, le tarage consiste à appliquer différentes charges sur le bras du pénétromètre sur substrat à pénétration nulle (au laboratoire de résistance des matériaux de l'ENSA). Les courbes sont obtenues à partir de charges appliquées et des déplacements correspondants du stylet ; ces dernières sont déterminées au fur et à mesure qu'on augmente les charges.

La courbe d'étalonnage obtenu par (Feddal,2015) nous permet donc de déterminer la force qui est appliquée sur une surface donnée (surface projetée du cône), ce qui nous permet de calculer l'effort de résistance à la pénétration qui est en fait une pression :

## Partie expérimentale

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

Avec :

F : effort appliqué (daN) ;

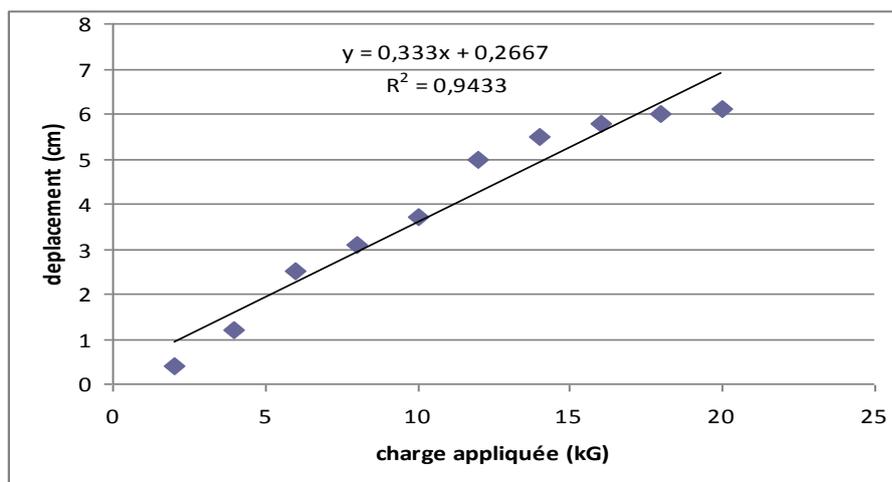
S = surface projetée du cône (cm<sup>2</sup>)

### Résultats de tarage du pénétromètre

**Tableau 14:** Résultats de tarage du pénétromètre.

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

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



Y : déplacement de l'aiguille

X : la pression (résistance)

**Figure 26:** courbe de tarage du pénétromètre.

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

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

-----(5)

## Partie expérimentale

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

### **3.2.2.2 Mesure de l'humidité du sol**

Le suivi du profil hydrique durant tout le cycle végétatif fait partie des principaux objectifs de notre travail. De fait, plusieurs prélèvements d'humidité du sol ont été réalisés durant tout le cycle végétatif du blé dur au cours de la campagne agricole. Le séchage des échantillons a été réalisé au niveau du laboratoire de l'ITGC.

#### **a. Méthode de prélèvement**

Chaque point de prélèvement a fait l'objet de deux échantillons sur 4 profondeurs (0-5cm, 5-15 cm ; 15-20cm, et 20-25cm), avec trois répétitions. Les prises des échantillons ont été réalisées à l'aide d'une tarière. Les échantillons sont placés sur le champ dans des boîtes métalliques.

#### **b. Méthode d'analyse**

La méthode de mesure directe de la teneur en eau d'un échantillon de sol s'effectue simplement par pesée avant et après étuvage, ces deux valeurs correspondant respectivement à la masse totale de l'échantillon  $M_t$  et la masse de fraction solide  $M_s$ .

La teneur en eau pondérale  $W$  vaut alors :

$$W = \left( \frac{M_w}{M_s} \right) \times 100 = \left[ \frac{(M_t - M_s)}{M_s} \right] \times 100 \text{-----(6)}$$

**c.**

Avec :

$W$  : taux d'humidité (%)

$M_w$ : masse de l'eau (g)

$M_s$  : masse du solide (g)

$M_t$  : masse total du sol (g)



**Figure 27:** Mesure de l'humidité de sol

### **3.2.2.3 Méthodologie de mesures relatives aux cultures**

#### **a) La densité racinaire**

Pour obtenir des données quantitatives, on peut prélever des échantillons de sol de la parcelle à étudier en ayant recours, pour cela, à des techniques de carottages avec un cube métallique de volume connu ( $18000 \text{ cm}^3$ ) soit 30 cm de longueur, 30 cm de largeur et 20 cm de hauteur, ce dernier dont une de ses extrémités a été affûtée, est enfoncé de façon mécanique dans le sol (dans l'horizon 0 – 20 cm) ; puis dégagé en creusant autour.

Une fois les échantillons prélevés, on va extraire les racines de ce volume de terre, pour cela, on procède à un lavage du sol sous jet d'eau.

Une fois les racines extraites et séparées des débris organiques, on mesure leurs poids, et comme étant donné que le volume du cube est connu on pourra bien évidemment déterminer la densité racinaire qui est en fait le poids des racines divisé par le volume du cube.

### **3.2.2.4 Les mesures relative à la culture du blé dur**

#### **a) Peuplement à la levée**

La détermination de ce caractère s'est faite au stade trois feuilles en comptant le nombre de plants sur la distance semée (2 mètres linéaires) puis convertis au mètre carré.

#### **b) Tallage**

Déterminé lorsque le stade tallage est atteint pour chaque parcelle élémentaire en comptant le nombre de talles sur les deux mètres linéaires puis la valeur obtenue est rapportée au mètre carré.

### c) Nombre d'épis par mètre carré

Le dénombrement s'est fait au stade épiaison par le comptage du nombre d'épis sur les deux mètres linéaires répétés 5 fois par parcelle élémentaire, puis convertis au mètre carré.

### d) Nombre de grains par épi

Après le battage des épis, le nombre de grains par épi est déterminé à partir de la moyenne du nombre de grains total présents dans chaque échantillon sur le nombre d'épis.

### e) Poids de mille grains :

Il est déterminé par le comptage de 1000 grains avec le compteur de grains. Et le poids de mille grains est déterminé à l'aide d'une balance de précision pour les 12 parcelles élémentaires.

### f) Rendement en grain estimé (q/ha)

Pour estimer en grains sur les différentes parcelles, nous avons pris trois caractéristiques mesurables à savoir le nombre de grains par épi, le nombre d'épi par mètre carré et le poids de mille grains. La relation qui permet de calculer le rendement s'écrit :

$$\text{RDT (kg/m}^2\text{)} = \text{nombre épis/m}^2 \times \text{PMG} \times \text{nombre grains/épi} \quad \text{-----(6)}$$

**RDT** : le rendement en grains (kg/m<sup>2</sup>)

**PMG** : poids de mille grains (kg).

### g) Rendement en biomasse fraîche (qx/ha)

Ce paramètre est déterminé par la pesée de la totalité des pieds (pailles+ épis), prélevées au niveau de chaque placette.

### h) Rendement en paille (t/ha)

Ce paramètre est déterminé par la pesée, après séparation des épis, de la totalité des tiges prélevées dans chaque placette.

### i) Rendement en grain réel (qx/ha)

Dans chaque parcelle élémentaire nous n'avons récolté qu'un seul passage à l'aide de la moissonneuse batteuse qui mesure 5 m de large, et donc le passage a été bien délimité d'une part et d'autre part, afin d'éviter l'effet de bordure, dans ce cas-là, les grains récoltés sur chaque parcelle ont été pesés puis rapporté à l'hectare.

### **j) Indice de récolte**

L'indice de récolte est le rapport du rendement en grains sur le rendement en biomasse aérienne totale. (Bouzerzour, 1998) rapporte que dans les milieux variables, il faut assurer une production de biomasse aérienne suffisante pour garantir rendement acceptable. Il a été calculé par la formule suivante :

$$IR = \frac{\text{rendement en grain}}{\text{biomasse aérienne}} \text{-----}(7)$$

### **3.2.2.5 Mesures relatives à la culture des lentille**

Durant le cycle de végétation de la culture, nous avons effectué certaines mesures concernant les composantes du rendement. 05 plants/m<sup>2</sup> ont été prélevés aléatoirement au niveau de chaque placette soit 60 plants au niveau des micro-parcelles de la lentille.

#### **a) Nombre de pieds levés /m<sup>2</sup>**

Le dénombrement se fait par le comptage du nombre de pieds levés sur les deux mètres linéaires puis convertis au mètre carré

#### **b) Nombre de ramification**

Sur les mêmes échantillons pris, nous avons déterminé le nombre de ramifications Principales. Ce paramètre sert aussi à connaître le comportement de la plante

#### **c) Nombre des fleurs**

Nous avons mesuré le nombre de fleurs par plant dans le stade de la floraison.

#### **d) Nombre de gousses/plante**

Nous avons compté le nombre de gousses pour chaque plant pris. C'est un paramètre qui sert à caractériser le comportement de la plante et l'estimation du rendement.

#### **e) Nombre de grains par gousse**

Nous avons compté le nombre des grains pour chaque gousse.

#### **f) Nombre des nodules**

Après la récupération des plantes, Nous avons observé et mesuré le nombre de nodules actifs et inactifs de chaque plante à l'aide d'une loupe.

### **g) Rendement réel en grains (q/ ha)**

Les pesées des graines ont été faites après la récolte au niveau de chaque parcelle en (kg/m<sup>2</sup>) puis rapporté en qx/ha.

#### **3.2.2.6 Méthodes de traitement des données**

Pour traiter nos données une analyse de la variance à deux critères de classification, qui sont le facteur étudié (technique de travail du sol) et le facteur contrôlé (bloc), a été réalisée à l'aide du teste de **Kruskal-Wallis** pour étudier les différences significatives entre les trois techniques de travail du sol, suivi par une comparaisons multiples par paires suivant la procédure de **steel-dwass-critchlow-fligner** / test bilatéral, pour la détermination la signification entre les quatre techniques.

## 3.3. Résultats et discussion

La première partie des résultats est consacrée aux modifications structurales, par la mesure de la teneur en eau du sol, la résistance du sol, et porosité totale des horizons. Ces résultats sont ensuite discutés. La seconde partie est consacrée aux conséquences sur l'enracinement ainsi que les paramètres de croissance du blé dur et de la lentille. Ces résultats sont discutés et une conclusion finale synthétise les résultats obtenus.

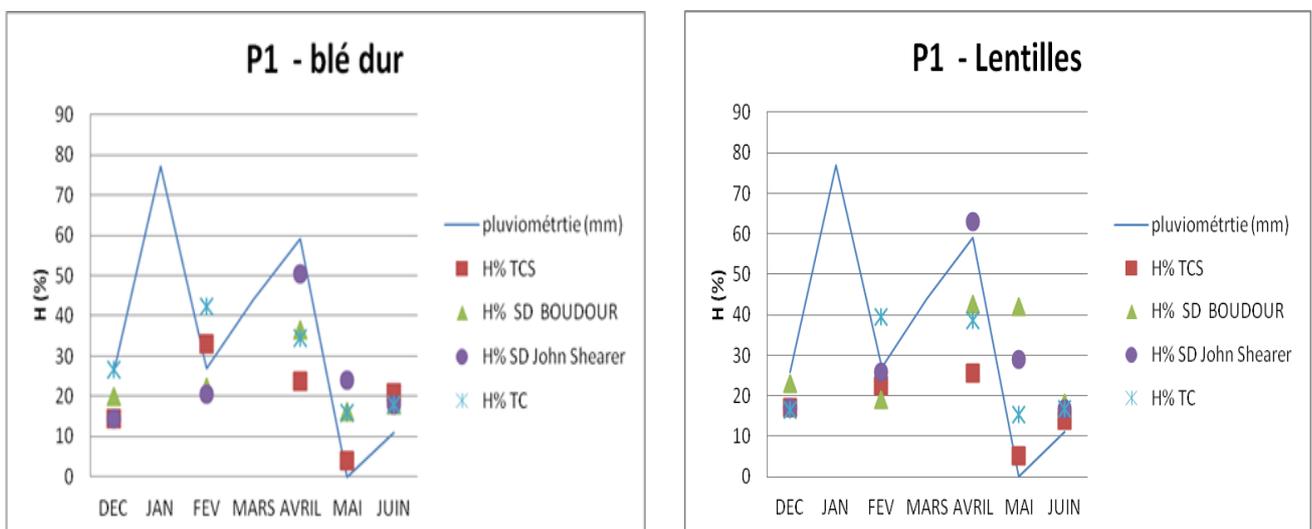
Après une analyse globale, pour une première observation, une analyse statistique permettra ensuite une quantification de ces effets pour chacune des techniques.

### 3.3.1. Effet des techniques culturales sur l'humidité du sol

Dans cette partie, nous abordons la présentation et l'analyse des résultats qui concernent l'effet des différentes techniques culturales sur la variation de l'humidité du sol pour les deux cultures (blé /lentille) en s'appuyant sur les résultats obtenus et illustrés par des courbes.

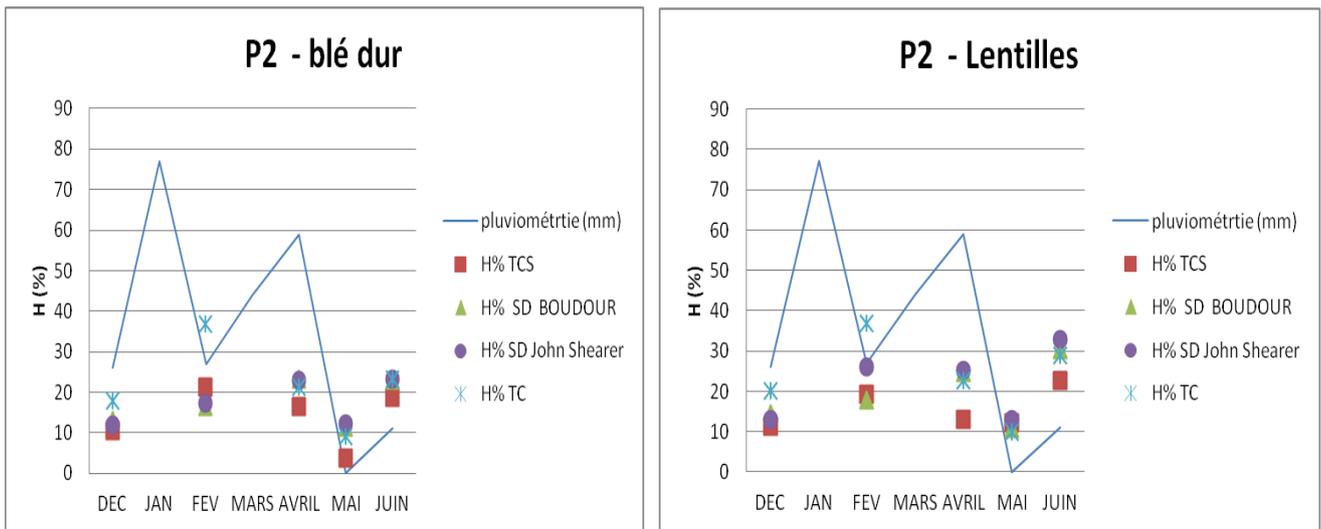
#### a) Pour l'horizon P1 (0-5cm)

La figure suivante représente la variation de l'humidité du sol en fonction des quatre techniques culturales durant toute la saison au niveau de l'horizon P1 de 0-5cm :



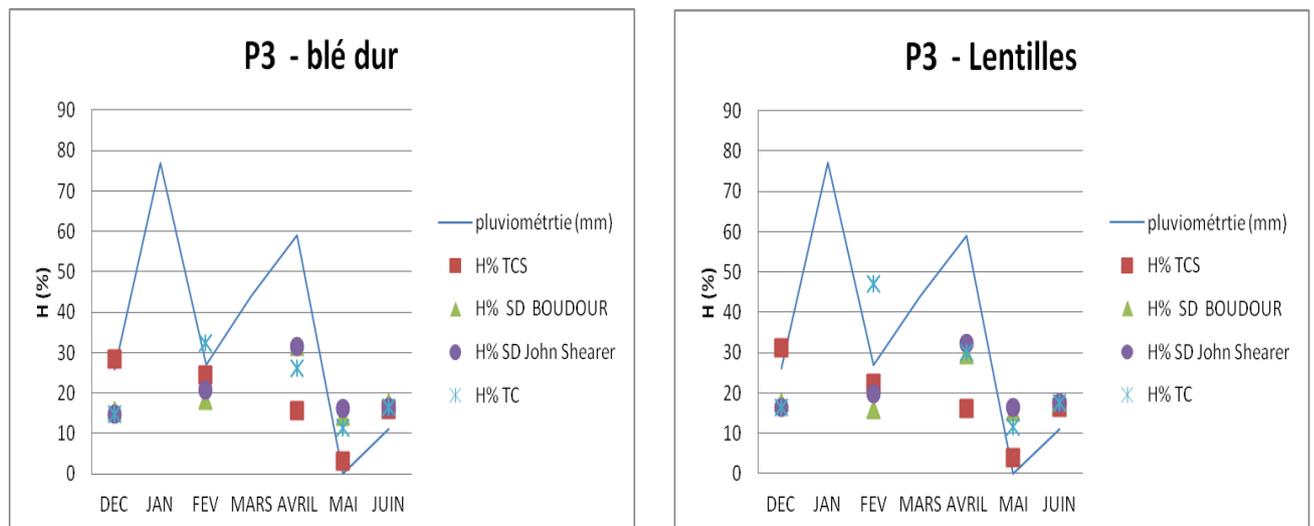
**Figure 28:** Variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur P1 durant les stades végétatives en fonction des techniques culturales.

## b) Pour l'horizon P2 (5-15 cm)



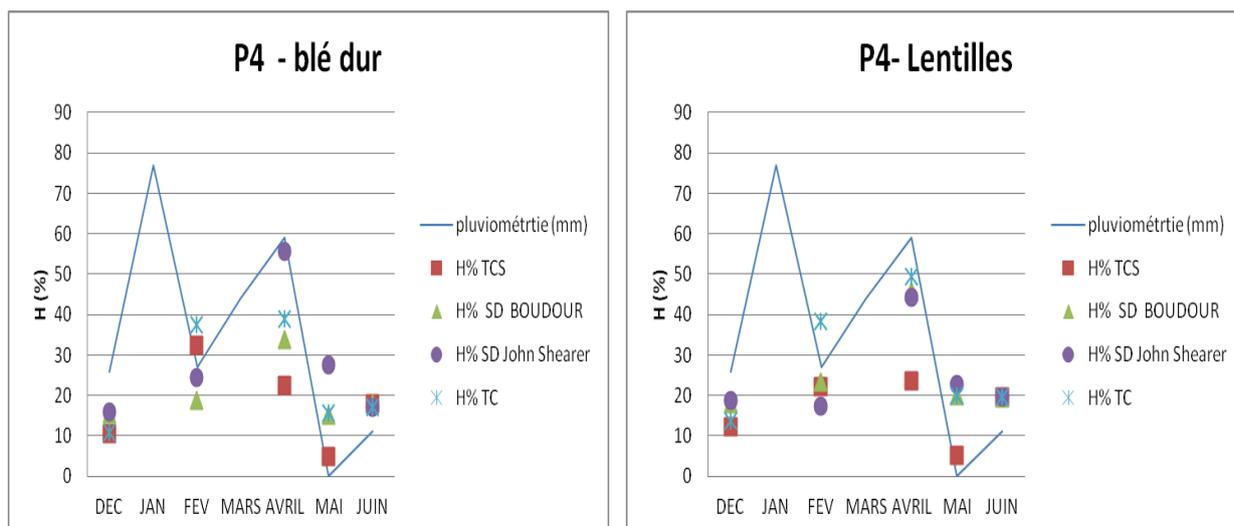
**Figure 29:** Variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur P2 durant les stades végétatives en fonction des techniques culturales.

## c) Pour l'horizon P3 (15-20 cm)



**Figure 30 :** Variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur P3 durant les stades végétatifs en fonction des techniques culturales.

### d) Pour l'horizon P4 (20-25 cm)



**Figure 31:** Variation de l'humidité du sol en relation avec la profondeur P4 durant les stades végétatifs en fonction des techniques culturales.

**Tableau 15 :** Date des prélèvements pour les deux cultures

Date	Stades du blé dur
<b>27/12/2018</b>	Après semis
<b>26/02/2019</b>	Levée
<b>01/04/2019</b>	Tallage
<b>12/05/2019</b>	Epiaison
<b>12/06/2019</b>	Remplissage

Date	Stades des lentille
<b>27/12/2018</b>	Levée
<b>26/02/2019</b>	Plantule
<b>01/04/2019</b>	Floraison
<b>12/05/2019</b>	Gousses
<b>12/06/2019</b>	Maturité

Le suivi de l'humidité du sol au cours des différents stades de développement du blé dur et des lentille, montre des grandes variations du taux d'humidité entre la valeur maximale enregistrée au niveau du stade Tallage pour John shearer qui est de 55%, et la valeur minimale enregistrée au niveau du stade épiaison pour le travail minimum avec 3%. Pour les lentille, la valeur maximale enregistrée au niveau du stade floraison pour SD Boudour qui est de 45%, et la valeur minimale enregistrée au niveau du stade gousse pour le travail minimum avec 3%.

## *Partie expérimentale*

Cette variation de l'humidité d'un stade à un autre est le résultat des conditions climatiques comme la pluie et la température, ajouté à cela les besoins de la plante qui diffèrent d'un stade à un autre.

Il faut signaler toutefois que les plus basses humidités ont été enregistrés au stade épiaison, cela est due au manque de pluviométrie pendant tout le mois de mai avec 0 mm.

*Pour ce qui est de l'effet du travail du sol pour la mise en place du blé dur, il semble que la TC conserve mieux l'humidité du sol, suivi du SD John Shearer ensuite SD Boudour, et enfin TCS. Ce constat est valable du premier au troisième stade sur les trois horizons 0 à 5 cm, 5 à 15 cm et 15 à 20, pour ce qui est du dernier horizon, SD John shearer conserve mieux l'humidité du sol.*

Pour approfondir l'analyse des résultats d'humidité, nous avons établi une analyse statistique (analyse de la variance bilatéral) pour comprendre l'effet combiné du travail du sol avec le stade et la profondeur sur la teneur en eau du sol, et les résultats sont représentés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 16:** L'analyse statistique de l'effet des techniques culturales sur l'humidité du sol en fonction de profondeur et stade de développement de blé dur.

Factor		Technique				
		TM	SD Boudour	SD John Shearer	TC	LSD P < 0.05
<b>Layer</b>	<b>0 - 0,05 m</b>	22,14 a	22,54 a	24,41 a	30,62 a	0,29
	<b>0,05 - 0,15 m</b>	15,60 a	17,20 a	17,47 a	24,81 a	0,25
	<b>0,15 - 0,20 m</b>	18,88 a	19,12 a	20,09 a	24,36 a	<b>0,04</b>
	<b>0,20 - 0, 25 m</b>	20,72 a	19,79 a	27,29 a	26,82 a	0,11
<b>Date of</b>	<b>Emergence</b>	15,88 a	15,98 a	14,28 a	20,07 a	0,204
<b>Sampling</b>	<b>Start Tillering</b>	27,78 c	18,93 a	20,71 a	37,25 b	<b>0,0001</b>
	<b>Full tillering</b>	19,53 a	31,17 b	40,10 b	30,16 b	<b>0,0002</b>
	<b>Heading</b>	3,87 a	14,12 bc	19,98 c	13,03 b	<b>0,0001</b>
	<b>Physiological maturity</b>	18,36 a	19,10 a	18,62 a	18,62 a	0,990

## Partie expérimentale

**Tableau 17:** Analyse statistique de l'effet des techniques culturales sur l'humidité du sol en fonction de profondeur et stade de développement de la lentille.

	Factor	Tillage				LSD P < 0.05
		MT	Boudour	John Shearer	CT	
<b>Layer</b>	0 - 0,05 m	18,00 a	26,85 a	29,35 a	28,29 a	0,211
	0,05 - 0,15 m	16,44 a	19,26 a	22,95 a	22,58 a	0,089
	0,15 - 0,20 m	18,94 a	18,54 a	20,37 a	29,27 a	0,322
	0,20 - 0, 25 m	21,95 a	24,73 a	22,99 a	30,23 a	0,202
<b>Date of Sampling</b>	Emergence	18,04 a	18,17 a	16,35 a	16,72 a	0,588
	Start Tillering	24,38 b	19,03 a	22,24 ab	40,43 c	<b>0,0001</b>
	Full tillering	19,58 a	35,52 b	41,22 b	35,13 b	<b>0,001</b>
	Heading	6,55 a	22,04 b	20,34 b	14,12 b	<b>0,0001</b>
	Physiological maturity	18,22 a	21,37 a	21,67 a	20,71 a	0,764

**Pour le premier horizon (0 – 5 cm)**, avec l'abondance de la pluviométrie après le semis, le travail conventionnel du sol semble permettre une meilleure conservation en eau au stade levée, après la constitution d'une bonne réserve en eau dans les sols travaillés en profondeur. A partir du 3ème stade, et avec la rareté de la pluviométrie Nous constatons aussi que l'humidité du sol diminue légèrement après passage du cover crop et du cultivateur a dent, il apparut clairement que le SD John Shearer et Boudour permettent une conservation de l'humidité meilleure par rapport aux deux autres chaines, que ce soit pour le blé dur ou pour la lentille cela peut être expliquer par la non perturbation du sol au niveau des parcelle menées par le semis direct.

**Pour l'horizon compris entre (5-15 cm)**, les résultats obtenus sont très rapprochés entre les deux systèmes de semis direct, avec une avance pour le travail conventionnel du premier au troisième stade cela due peut être par le réserve d'eau qui infiltre facilement grâce à la bonne préparation du sol , il faut toutefois signaler que l'humidité diminue sensiblement dans les 4 techniques au 4ème stade épiaison, jusqu'à atteindre les plus faibles valeurs, cela est due principalement à l'absence de la pluviométrie, avec une meilleure humidité en TCS et SD John Shearer et Boudour au niveau de ce stade .

**Pour le troisième horizon compris entre (15 – 20 cm)**, le TCS et TC conserve mieux l'humidité au début du cycle ou la pluviométrie a pu constituer une réserve dans le sol, avec des valeurs respectivement de 32% et 24% pour TC et TCS en blé dur, contrairement aux lentilles

## *Partie expérimentale*

ou les valeurs ont atteint 16 % et 30 %. Mais à partir du 4<sup>ème</sup> stade ou la pluviométrie a diminué, le SD semble conserver mieux l'humidité avec des valeurs respectivement de 14 % et 16 % pour Boudour et John Shearer, contre 3% et 11% pour TCS et TC en blé dur et lentille.

Pour le **quatrième horizon compris entre (20 – 25 cm)**, le SD semble conserver mieux H%, surtout le John Shearer ou la perturbation des couches profondes est nulle, ce qui provoque une diminution de la température du sol dans ces couches , on peut expliquer ça par la remontée capillaire d'eau au niveau de P4 .

L'analyse statistique (analyse de la variance bilatéral) pour le blé dur montre qu'il y a un effet significatif de la technique et Profondeur 3 sur H% du sol avec un p-value est égale à **0,04**, et un effet hautement significatif de la technique utilisée **et** du stade de développement du blé dur sur H% du sol au **2<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup>** stade avec un p-value est inférieure à **deux dix-millièmes**.

L'analyse statistique (analyse de la variance bilatéral) pour la lentille montre qu'il n'est y aucun un effet significatif de la technique et Profondeur sur H% du sol avec un p-value est supérieure à **0,05**, mais elle montre qu'il y a un effet hautement significatif de la technique utilisée **et** du stade de développement de la lentille sur H% du sol au **2<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup>** stade avec un **p-value** est égale **un millième** pour la **3<sup>ème</sup>** stade et un **dix-millièmes** pour la **2<sup>ème</sup>** et le **4<sup>ème</sup>** stade.

D'une manière générale, le non labour favorise l'humidité durant le cycle du blé dur. Mrabet (1997) à montrer que la non manipulation du sol et le maintien d'un couvert végétal aident à prolonger la durée du dessèchement de la surface, et gardent le sol plus humide une période de temps plus longue. Du volume et de la morphologie de l'espace poral dépendent les propriétés hydriques du sol donc le stockage et la circulation de l'eau (Pachepsky & Rawls, 2003). De nombreuses études s'accordent pour montrer qu'un sol non travaillé retient plus d'eau (Dao, 1993 ; Arshad et al., 1999 ; Ferreras et al., 2000 ; Baumhardt & Jones, 2002 ; Bhattacharyya et al., 2006 ; Feddal, 2011) du fait de la modification de l'espace poral mais aussi du fait de la présence des résidus en surface qui réduisent l'évaporation (Munawar et al., 1990 ; Guerif, 1994). En revanche, il n'existe pas de consensus concernant les effets du semis direct sur la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol. Comparé à un sol travaillé, la vitesse d'infiltration de l'eau dans un sol en semis direct peut être augmentée (Miller et al., 1998 ; Arshad et al., 1999), similaire (Blanco-Canqui et al., 2004 ; Fuentes et al., 2004) ou diminuée (Ferreras et al., 2000 ; Lampurlanes & Cantero-Martinez, 2006). En fait, cette variabilité

s'explique par les différences d'évolution du réseau poral au cours du temps entre un sol labouré et un sol en semis direct. Des macro pores sont créés juste après le labour ce qui améliore temporairement la vitesse d'infiltration de l'eau (Lin et al., 1999 ; Coquet et al., 2005) mais l'action mécanique de la charrue peut détruire la continuité des bio pores formés pendant le cycle cultural précédent (Logsdon et al., 1993). A l'inverse, la réduction du nombre de méso- et macro pores du sol après l'abandon du labour est contrebalancée par un accroissement de la quantité des biopores lors de la pratique à long terme de la technique du semis direct (Rasmussen, 1999). De plus, l'augmentation de la quantité de matières organiques dans les premiers centimètres d'un sol non travaillé faciliterait l'infiltration de l'eau (Findeling et al., 2003).

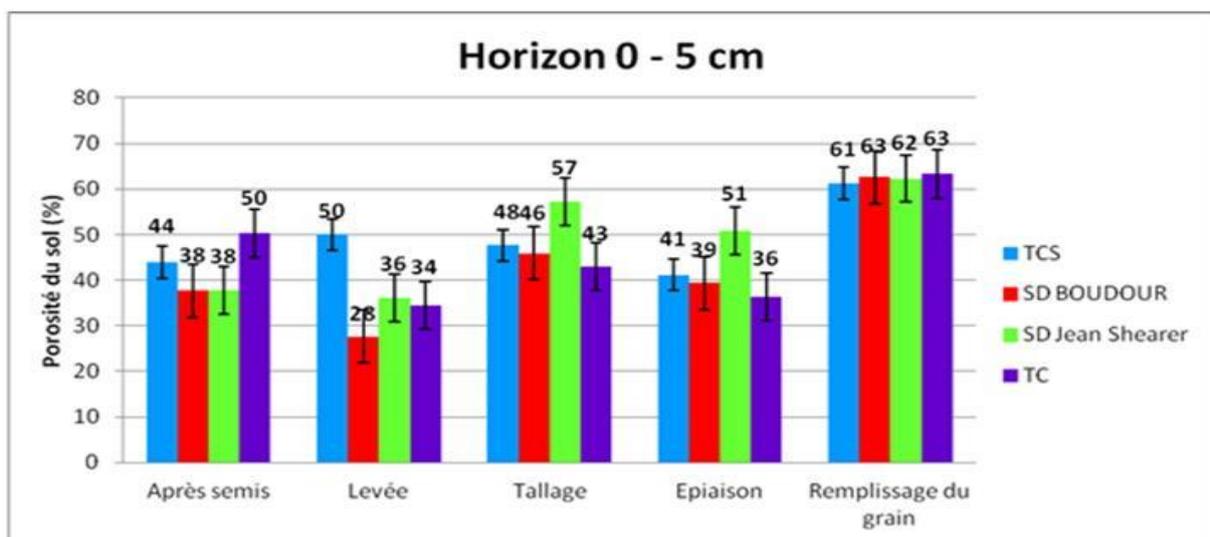
### 3.3.2. Effet des techniques culturales sur la porosité du sol

Le deuxième paramètre analysé est la porosité, ce dernier conditionne pour une grande partie la rétention d'eau par le sol, l'aération des racines, et leur progression dans le sol.

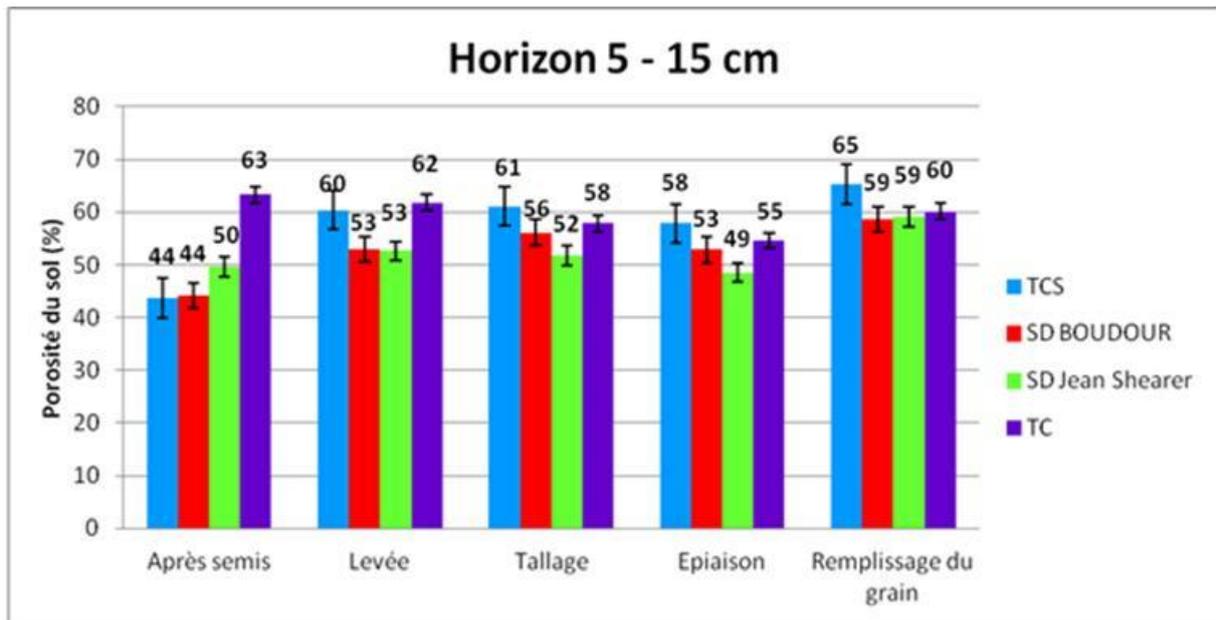
L'analyse de l'effet du travail conventionnel, du travail minimum (TCS) et du semis direct (John Shearer et Boudour) sur la porosité pour le blé est représentée dans les figures suivantes :

#### 3.3.2.1. Cas du blé :

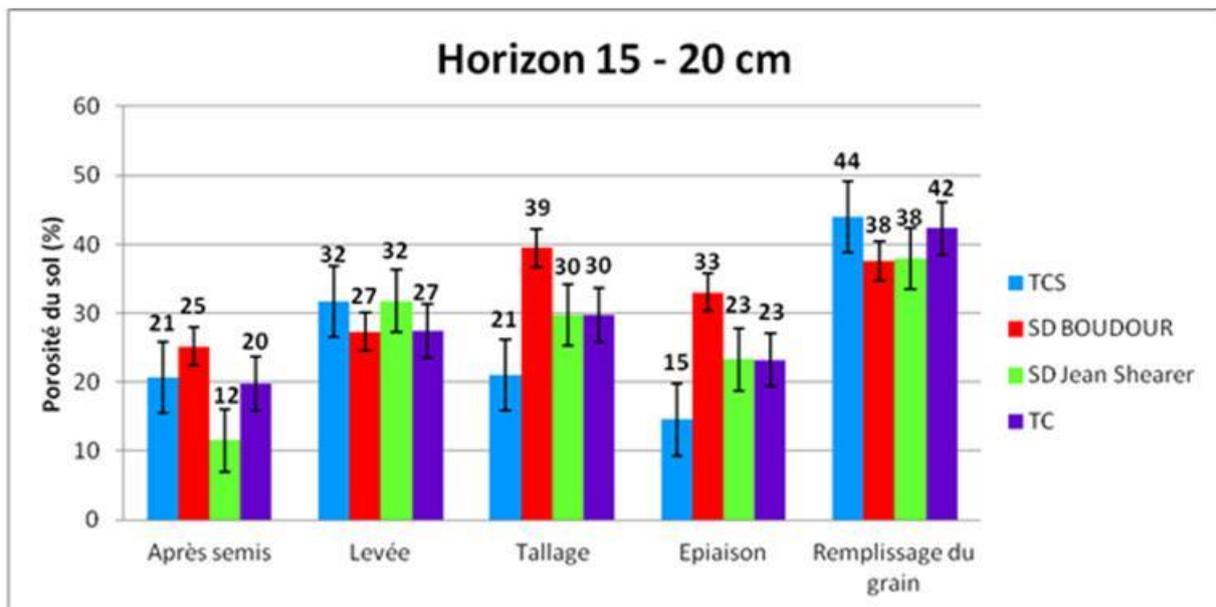
La figure ci-dessous représente la variation de la porosité du sol en relation avec la 4 profondeurs et le stade végétatif du blé dur pour les quatre techniques culturales.



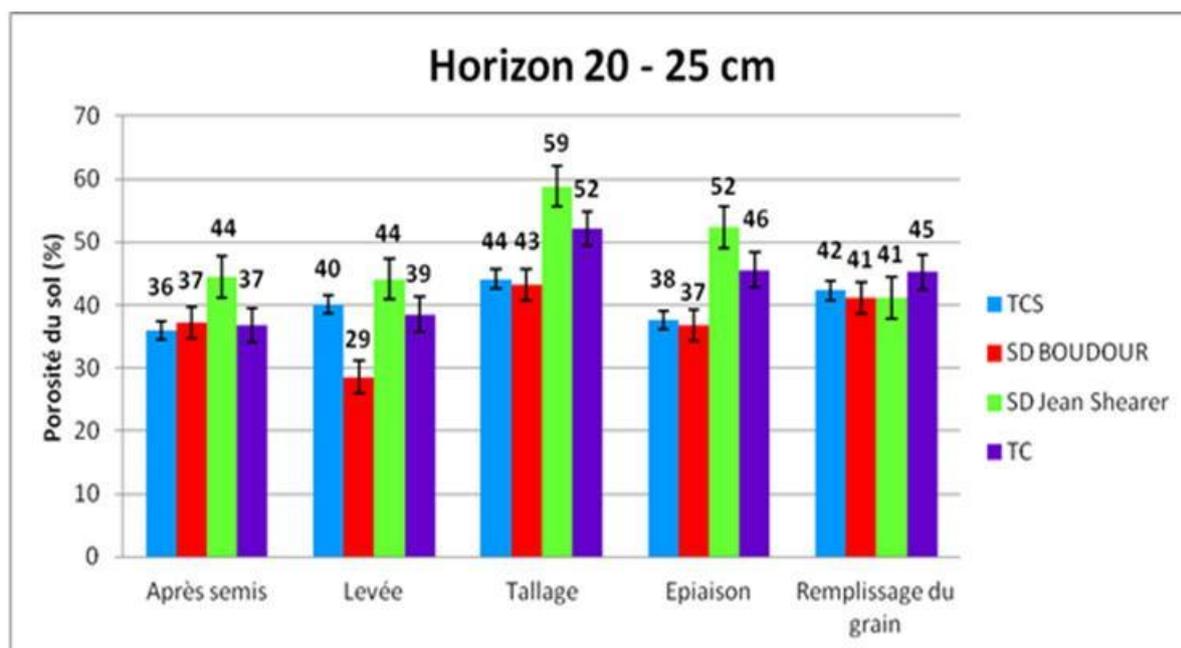
**Figure 32:** variation de la porosité totale du sol durant les stades de développement du blé dur pour les techniques culturales au niveau de l'horizon P1.



**Figure 33:** variation de la porosité totale du sol durant les stades de développement du blé dur pour les techniques culturales au niveau de l'horizon P2.



**Figure 34:** variation de la porosité totale du sol durant les stades de développement du blé dur pour les techniques culturales au niveau de l'horizon P3.



**Figure 35:** variation de la porosité totale du sol durant les stades de développement du blé dur pour les techniques culturales au niveau de l'horizon P4.

**Tableau 18:** Analyse statistique (analyse de la variance bilatéral) de l'effet des techniques culturales sur la porosité du sol en fonction de profondeur et stade de développement du blé dur.

Factor		Tillage				LSD P < 0.05
		TM	Boudour	John Shearer	TC	
Layer	0 - 0,05 m	49 a	41 a	45 a	43 a	0,410
	0,05 - 0,15 m	58 ab	53 ab	52 a	60 b	<b>0,01</b>
	0,15 - 0,20 m	28 a	31 a	29 a	28 a	0,664
	0,20 - 0, 25 m	40 ab	36 a	48 b	42 ab	<b>0,04</b>
Date of Sampling	Emergence	36 a	36 a	36 a	43 a	0,623
	Start Tillering	46 a	34 a	41 a	41 a	0,124
	Full tillering	43 a	46 a	49 a	46 a	0,799
	Heading	38 a	40 a	44 a	40 a	0,758
	Physiological maturity	53 a	53 a	50 a	50 a	0,939

## *Partie expérimentale*

Le premier constat à établir est que la porosité du sol est plus importante en surface (0-15 cm) quelle que soit la modalité considérée, et elle diminue en deçà, notamment dans les horizons qui ne sont plus fragmentés par les outils de travail du sol. Elle est inversement proportionnelle à la profondeur du sol. Les valeurs de la porosité du sol pour les 04 techniques, à quatre horizons ne dépassent pas la moyenne de 60%, ce qui est normal pour un sol agricole qui possède une porosité entre 30 et 60 %.

Nous constatons aussi que :

- **Au niveau du premier horizon (0 – 10 cm)**, les valeurs de la porosité sont très rapprochées pour les quatre techniques avec un léger avantage pour SD John Shearer et TCS par rapport aux TC et boudour. La porosité de surface reste plus au moins stable du premier au dernier stade pour les quatre techniques, elle est dans l'intervalle de [38% - 63%].
- De cet horizon, et d'après l'analyse statistique, il ressort un constat important, c'est qu'il n'y a pas d'effet significatif de la technique de travail du sol sur la porosité  
P-value < **0,410**.
- Au niveau de **l'horizon compris entre 5 et 15 cm**, il semble que le travail du sol conventionnel permet une meilleure porosité du premier au dernier stade. La différence nette par rapport aux deux autres techniques est apparue surtout au cours des trois premiers stades cela peut être due à l'action des pièces travaillantes des outils aratoires.
- L'analyse statistique montre un effet hautement significatif des techniques sur la porosité avec **P value < 0,01**. Toujours, d'après cette analyse, il ressort que TCS et Boudour ont eu le même impact sur la porosité, alors que John Shearer et TC diffèrent des deux premières.
- Au niveau du **troisième horizon (15 – 20 cm)**, on enregistre les plus faibles valeurs de la porosité pour les 04 techniques, avec des différences par rapport aux précédents stades en moyenne de 0,06 %. Le SD Boudour semble offrir la meilleure porosité, il faut toutefois signaler que les valeurs restent très proches entre les différentes techniques. L'analyse statistique n'indique pas d'effet

## Partie expérimentale

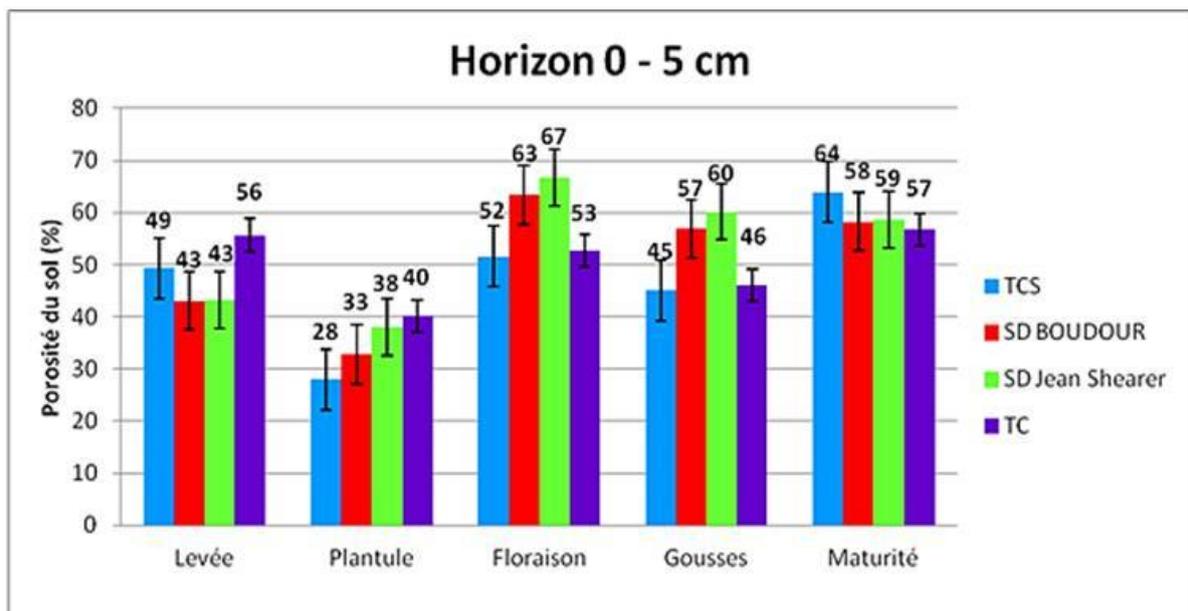
significatif des différentes modalités de travail du sol sur la porosité dans cet horizon.

- Au niveau du **troisième horizon (20 – 25 cm)**, les valeurs de la porosité totale du sol sont très rapprochées entre les quatre techniques avec un léger avantage pour le SD John Shearer dans les 05 stades. L'analyse statistique montre un effet significatif des techniques sur la porosité avec **P value < 0,04**. La variation de la porosité semble identique entre TCS et TC différente du SD.

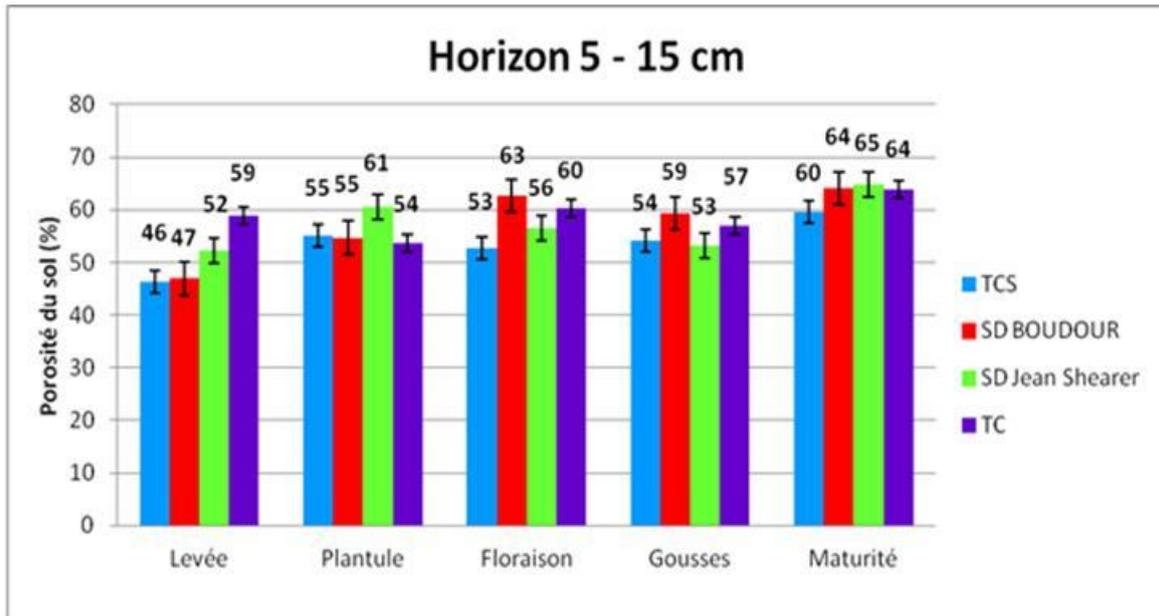
L'analyse de l'effet du travail conventionnel, du travail minimum (TCS) et du semis direct (John Shearer et Boudour) sur la porosité pour la lentille est représentée dans les figures suivantes :

### 3.3.2.2. Cas de la lentille :

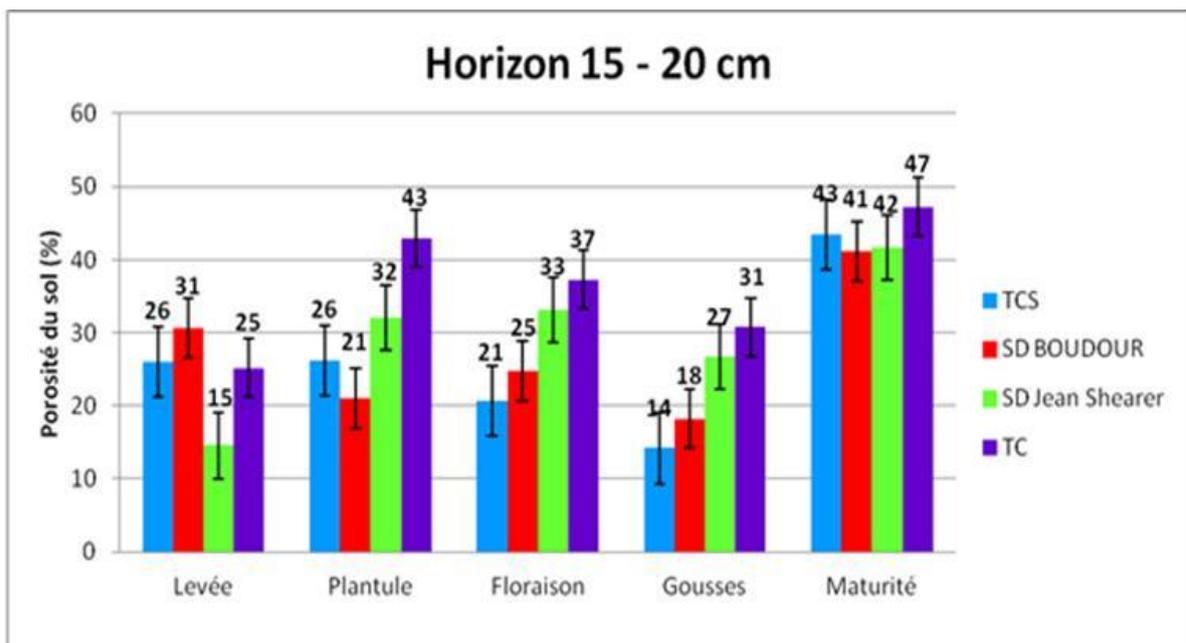
Les figures ci-dessous représente la variation de la porosité du sol en relation avec la 4 profondeurs et le stade végétatif de la lentille pour les quatre techniques culturales.



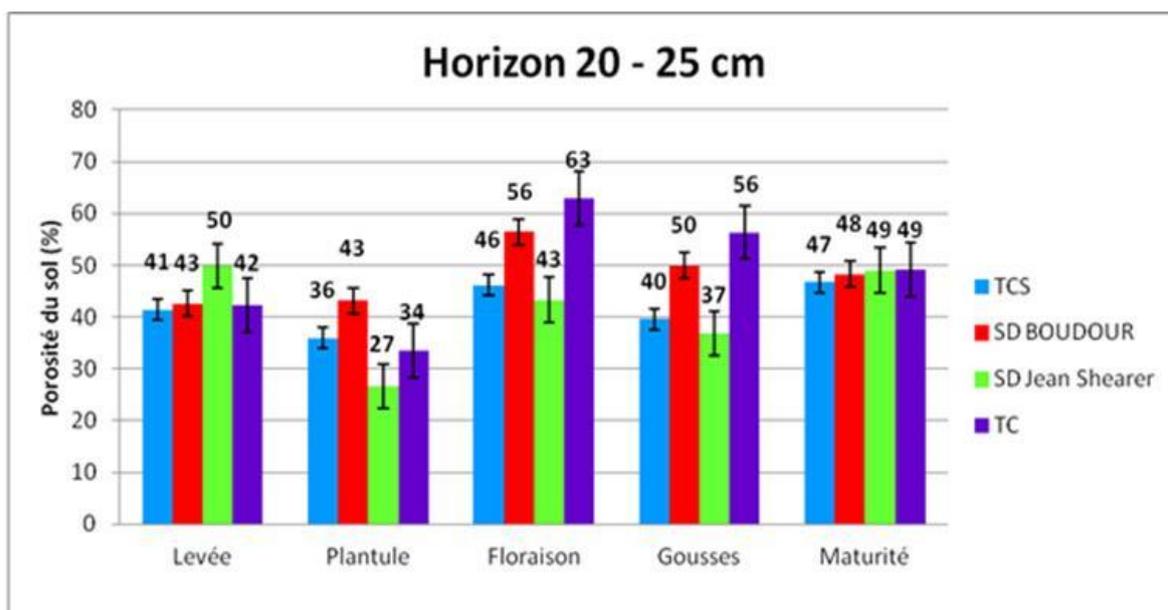
**Figure 36:** variation de la porosité totale du sol durant les stades de développement de la culture de la lentille pour les techniques culturales au niveau de l'horizon P1



**Figure 37:** variation de la porosité totale du sol durant les stades de développement de la culture de la lentille pour les techniques culturales au niveau de l'horizon P2.



**Figure 38:** variation de la porosité totale du sol durant les stades de développement de la culture de la lentille pour les techniques culturales au niveau de l'horizon P3



**Figure 39:** variation de la porosité totale du sol durant les stades de développement de la culture de la lentille pour les techniques culturales au niveau de l'horizon P4

**Tableau 19:** Analyse statistique (analyse de la variance bilatéral) de l'effet des techniques culturales sur la porosité du sol en fonction de profondeur et stade de développement de la lentille.

Factor		Tillage				DSL P < 0.05
		TM	Boudou r	John Shearer	TC	
Layer	0 - 0,05 m	43 a	46 a	51 a	48 a	0,643
	0,05 - 0,15 m	54 a	57 a	58 a	58 a	0,418
	0,15 - 0,20 m	26 a	26 a	31 a	37 a	0,158
	0,20 - 0,25 m	41 a	46 a	39 a	45 a	0,234
Date of Sampling	Emergence	41 a	41 a	40 a	45 a	0,746
	Start Tillering	36 a	37 a	40 a	43 a	0,555
	Full tillering	43 a	52 a	50 a	53 a	0,205
	Heading	0,38 a	0,46 a	0,44 a	0,48 a	0,364
	Physiological maturity	53 a	54 a	54 a	53 a	0,996

## *Partie expérimentale*

- **Au niveau de l'horizon 0 - 5 cm**, il y a un accroissement de la porosité dans la technique culturale simplifiée et le semis direct durant tout le cycle de développement de la lentille, par contre, on enregistre une stabilité de la porosité au niveau de TC cela est principalement due à l'action des pièces travaillantes des outils aratoires. On remarque aussi que la valeur maximale de la porosité est enregistrée dans le stade floraison au niveau du semis direct John Shearer, elle est égale à 67% car il n'y a aucune perturbation de la structure du sol. Les résultats montrent que l'élimination du phénomène du labour favorise mieux la porosité au niveau du premier horizon.
- **Au niveau de l'horizon 5 - 15 cm**, on remarque qu'il n'y a pas une grande variation du taux de porosité dans toutes les techniques culturales utilisées durant tout le cycle de développement de la culture, avec un avantage du TC dans le stade levé avec 59% de porosité. Le semis direct (Boudour et John Shearer) prend l'avantage par la suite jusqu'à la fin du cycle. Les résultats montrent aussi qu'au niveau de cet horizon la valeur maximale de n% est enregistrée dans le stade maturité au niveau du semis direct John Shearer, elle est de l'ordre de 65% cela revient toujours à la non perturbation de la structure du sol.
- **Au niveau de l'horizon 15 - 20 cm**, TC semble permettre d'obtenir la plus grande porosité durant tout le cycle de développement de la lentille, avec une valeur maximale au stade plantule de 43% contre respectivement 26%, 21%, et 32% pour TCS, Boudour et John Shearer.
- **Au niveau de l'horizon 20 - 25 cm**, on remarque que les techniques qui ne perturbent pas le sol favorisent la porosité dans les premiers stades, notamment le SD John Shearer enregistre la plus grande valeur 50% au stade levée, et le SD Boudour au stade plantule avec une valeur de 43%.

De nombreuses études réalisées dans des conditions pédoclimatiques variées concluent tous à une augmentation de la densité apparente en semis direct, dans les cinq à dix premiers centimètres de sol (Ehlers *et al.*, 1983 ; Hammel, 1989 ; Hill, 1990 ; Grant et Lafond, 1993 ; Unger et Jones, 1998 ; Lampurlanes et Cantero-martinez, 2003 ; Basic *et al.*, 2004). L'augmentation de la densité apparente du sol est toutefois moins importante dans le système de travail du sol réduit comparé au système de semis direct (Key et Vandan Bygaard, 2002). Tebrugge et Daring (1999), montrent que l'écart de la densité apparente entre un sol labouré et un sol non travaillé est maximal après le passage de la charrue ; l'écart décroît au cours de la saison culturale. le non retournement des couches de sols par la charrue ou les techniques de

## Partie expérimentale

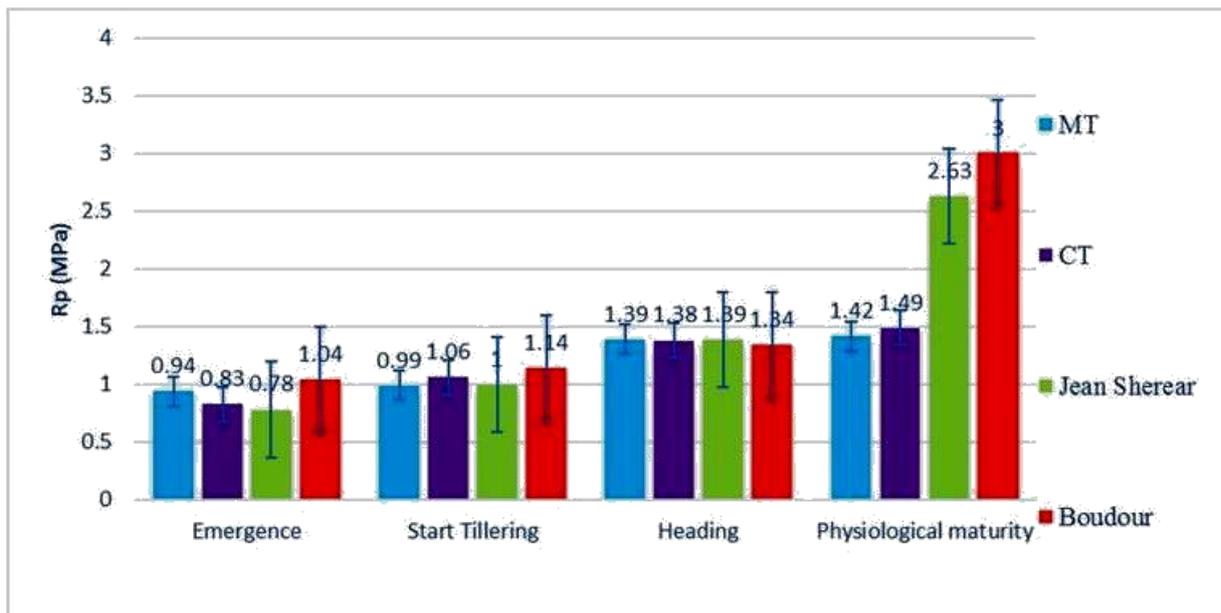
travail superficiel, surtout les techniques de semis direct, favorisent l'activité fousseuse de la faune du sol, et la présence de bio-pores contribue donc à diminuer les effets de ces techniques sur la densité apparente du sol sur le long terme (au-delà de 10 années de l'adoption de ces techniques).

### 3.3.3. Effet des techniques culturales sur la résistance penetrometrique

La mesure de la résistance pénétrométrique au moyen d'un pénétromètre est l'un des indicateurs fréquemment utilisés pour donner un aperçu sur l'état de compaction du sol et la contrainte qu'oppose le sol à la progression des racines. Notre étude a porté sur une analyse de la variation de ce paramètre en relation avec la profondeur et les stades de développement du blé dur et de la lentille pour trois techniques culturales et les premiers résultats obtenus sont mentionnés dans les figures suivantes :

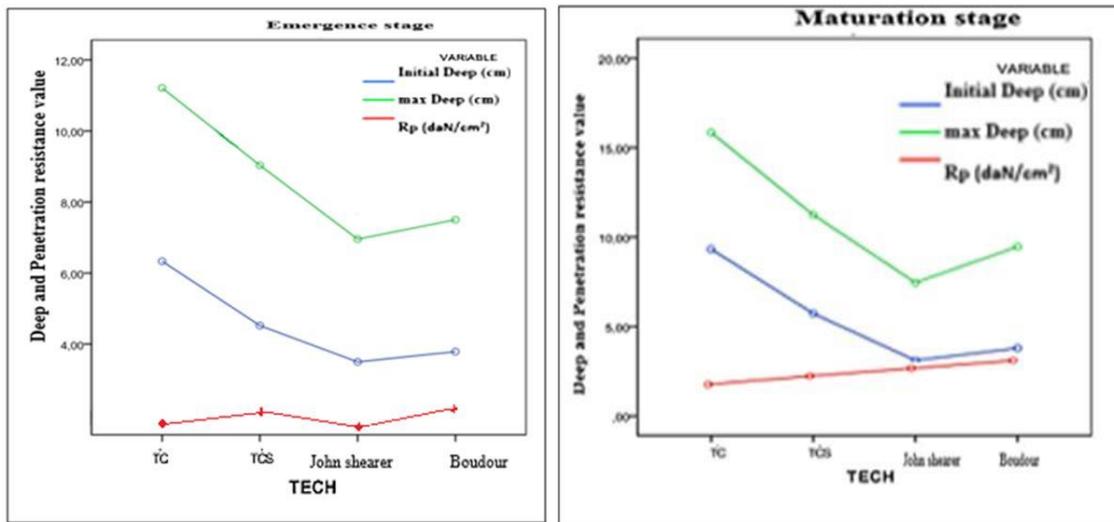
#### 3.3.3.1. Cas du blé :

La figure ci-dessous représente la variation de la résistance pénétrométrique du sol en relation avec le stade végétatif du blé dur pour les trois techniques culturales



**Figure 40:** Variation de la résistance pénétrométrique du sol en fonction de la technique durant le cycle de développement de blé dur.

## Partie expérimentale



**Figure 41:** Variation de la résistance pénétrométrique du sol en fonction de la technique et la profondeur durant le stade remplissage- maturité du blé dur.

**Tableau 20:** Analyse statistique (analyse de la variance bilatéral) d'effet des techniques culturales sur RP durant le cycle de blé dur.

Factor		Tillage				
		TM	SD Boudour	SD John Shearer	TC	DSL $P < 0.05$
Date of Sampling	Emergence	0,94a	1,04a	0,78a	0,83a	0,440
	Start Tillering	0,99a	1,14a	1,00a	1,06a	0,413
	Heading	1,39a	1,34a	1,39a	1,38a	0,715
	Physiological maturity	1,42a	3,00a	2,63a	1,49a	0,364

A première vue, les résultats montrent que les quatre techniques présentent les mêmes tendances de Rp du premier au dernier stade et les valeurs sont très rapprochées entre SD Boudour et SD John Shearer. Cela est peut-être due à la reprise de masse du sol dans le temps après le semis.

En analysant plus profondément les résultats, on observe que les valeurs maximales sont enregistrées dans le stade maturité, avec des valeurs de l'ordre de 3MPa pour le SD boudour, 2,53 MPa au niveau de SD john Shearer, 1,49 et 1,42 MPa respectivement dans TC et TM.

## *Partie expérimentale*

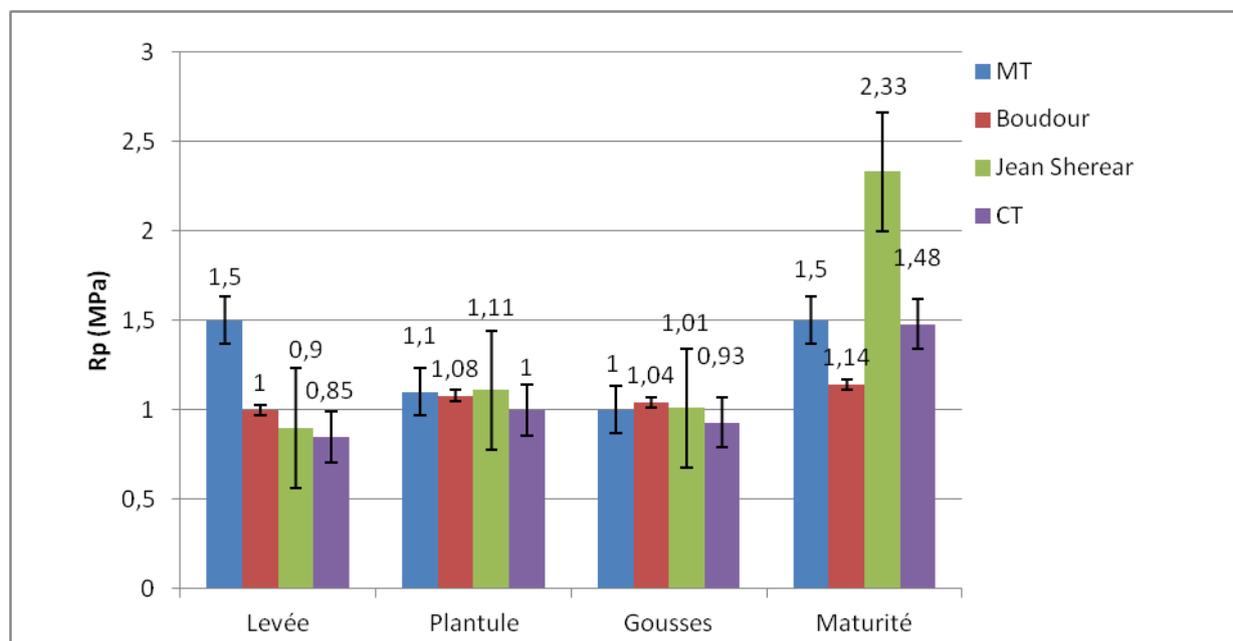
La résistance à la pénétration augmente avec la profondeur sous tous les systèmes de travail du sol. Cela concorde avec les conclusions de Hill et Cruse (1985) et McFarland, Hons et Lemon (1990). Il y avait une indication qu'une couche dure s'est formée à une profondeur de 20 -25 cm avec les quatre systèmes de travail du sol, même si ce n'était pas très distinct.

Des différences significatives de résistance à la pénétration entre les systèmes de travail du sol n'ont été obtenues en 2019 dans la zone d'étude. Aucune différence de résistance à la pénétration n'est apparue à moins de 05 cm ou à plus de 25 cm en raison des profondeurs de travail des outils utilisés dans les années précédentes.

La résistance pénétrométrique pour tous les systèmes de travail du sol n'a pas dépassé 1,39 MPa au stade épiaison, donc le compactage n'était pas suffisant pour restreindre significativement la croissance des racines. Les augmentations de rendement peuvent se faire sous un compactage modéré dans des conditions sèches, en raison d'une meilleure germination et d'une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau (Voorhees, 1987). Bien que la capacité des racines à pénétrer dans un sol compacté dépende d'un certain nombre de facteurs, la croissance des racines cessera généralement à des résistances pénétrométriques supérieures à 2 500 kPa (Simmons, 2019). Cette valeur critique peut être différente pour différents types de sol et peut être inférieure ou supérieure aux 2500 kPa, comme suggéré par Simmons (2019), selon le type de sol. Bennie et Krynauw (1985) ont découvert qu'il existait une relation entre la résistance au pénétromètre et la longueur et/ou la densité des racines, avec une valeur critique à environ 1200 kPa. Dans les zones plus profondes du sol, la résistance à la pénétration dans tous les traitements de travail du sol était suffisamment élevée pour limiter la croissance des racines, forçant les racines à se développer à travers des zones de moindre résistance, telles que les macropores (Ellis & Barnes, 1980 ; Rechel, et all 1990).

### 3.3.3.2. Cas de la lentille :

La figure ci-dessous représente la variation de la résistance pénétrométrique du sol en relation avec le stade végétatif de la culture de la lentille pour les trois techniques culturales.



**Figure 42:** Variation de la résistance pénétrométrique du sol en fonction de la technique durant le cycle de développement de la lentille.

**Tableau 21 :** Analyse statistique (analyse de la variance bilatéral) d'effet des techniques culturales sur RP durant le cycle de la culture de la lentille.

Factor		Tillage				
		TM	SD	SD John	TC	DSL
			Boudour	Shearer		$P < 0.05$
Date of Sampling	Levée	1,51a	1,00a	0,90a	0,85a	0,287
	Plantule	1,11a	1,08a	1,11a	1,00a	0,612
	Gousses	1,07a	1,04a	1,01a	0,93a	0,497
	Maturité	1,50a	1,14a	2,33a	1,48a	0,871

Les résultats obtenus de Rp dans les parcelles des lentille ne montre pas d'effet significatif de la technique de travail du sol sur la résistance à la pénétration du sol. Rp est plus importante au niveau du travail minimum et semis direct. Les valeurs sont respectivement de 1,07 Mpa, 1,04

## *Partie expérimentale*

Mpa et 1,01 Mpa pour TCS, SD Boudour et SD John Shearer, au stade gousses, contre 0,93 MPa en TC.

. 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.

A partir de ces résultats on peut prédire des racines se développant plus facilement sur les parcelles travaillées avec la charrue à soc. Mais il faut rester toutefois prudent, parce qu'aucune relation n'a été établie entre la résistance pénétrométrique et la croissance racinaire.

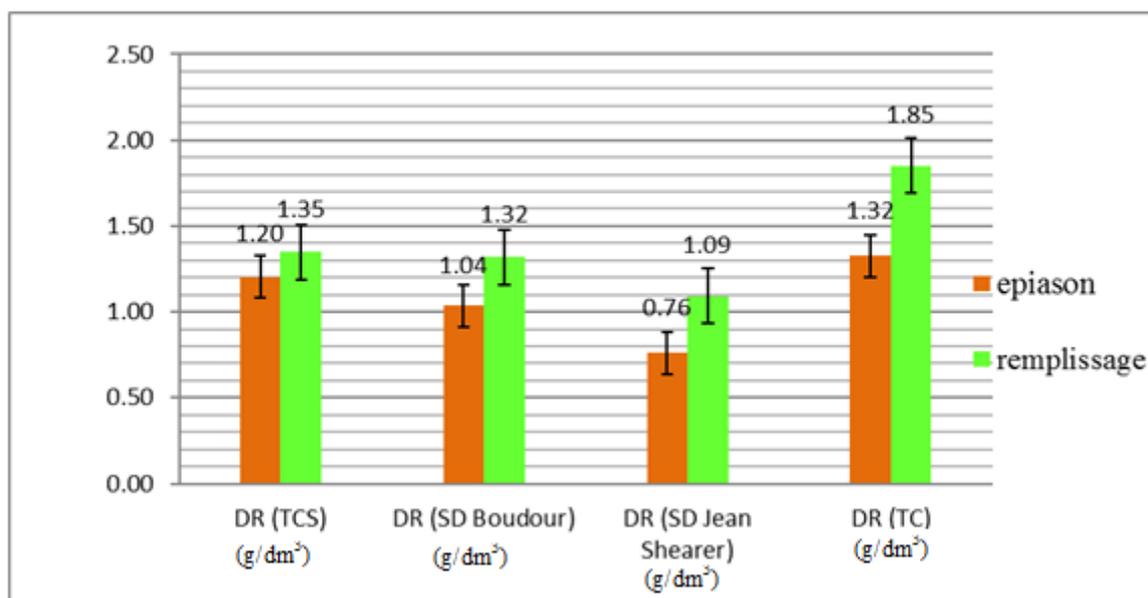
### **3.3.4. Effet des techniques culturales sur l'enracinement du blé dur**

Le système racinaire est un critère important d'évaluation par les agronomes et les agriculteurs, de la nécessité ou non d'une amélioration des caractéristiques physiques du profil cultural par le travail du sol, puis après réalisation, de l'efficacité de celle-ci. Malheureusement les systèmes racinaires des cultures sont encore peu connus car difficiles à observer au champ. C'est la face cachée de la plante. On a donc utilisé la méthode du carottage pour déterminer ses caractéristiques qui sont : la longueur, le diamètre, et la densité racinaire, et les résultats obtenus sont représentés dans ce qui suit.

#### **a) Densité racinaire**

Les résultats de l'effet des techniques culturales sur la densité racinaire (DR) pour les deux stades étudiés sont représentés dans la figure ci-dessous .

La figure ci-dessus montre clairement que la densité racinaire est nettement supérieure dans les sols travaillés conventionnellement. La densité des racines est variable d'une technique à une autre et d'un stade à un autre. La densité varie entre  $0,76 \text{ g/dm}^3$  et  $1,85 \text{ g/dm}^3$  , cette dernière valeur est la plus importante au stade maturation pour le travail conventionnel profond.



**Figure 43:** variation de la densité racinaire de la culture du blé dur en fonction de la technique au stade épiaison et remplissage des grains.

La densité racinaire augmente du stade épiaison au stade maturation pour atteindre sa valeur maximale de 1,85 g/dm<sup>3</sup> au niveau de TC, alors qu'au niveau du SD Boudour et John Shearer la densité racinaire augmente après le stade épiaison pour atteindre respectivement 1,32 g/dm<sup>3</sup> et 1,09 g/dm<sup>3</sup>. Néanmoins, cette densité est plus importante au niveau de TCS au cours des deux premiers stades par rapport au SD.

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

**Tableau 22:** Analyse statistique (test de student) de l'effet des techniques culturales sur la densité racinaire dans le stade épiaison et remplissage du blé dur.

Factor		Tillage				LSD $P < 0.05$
		MT	SD Boudour	SD john Shearer	CT	
Date of Sampling	Heading	11,5 a	12,5 b	10,9 a	15 c	<b>0,0001</b>
	Physiological maturity	13,9 b	13,5 b	11,3 a	18,2 c	

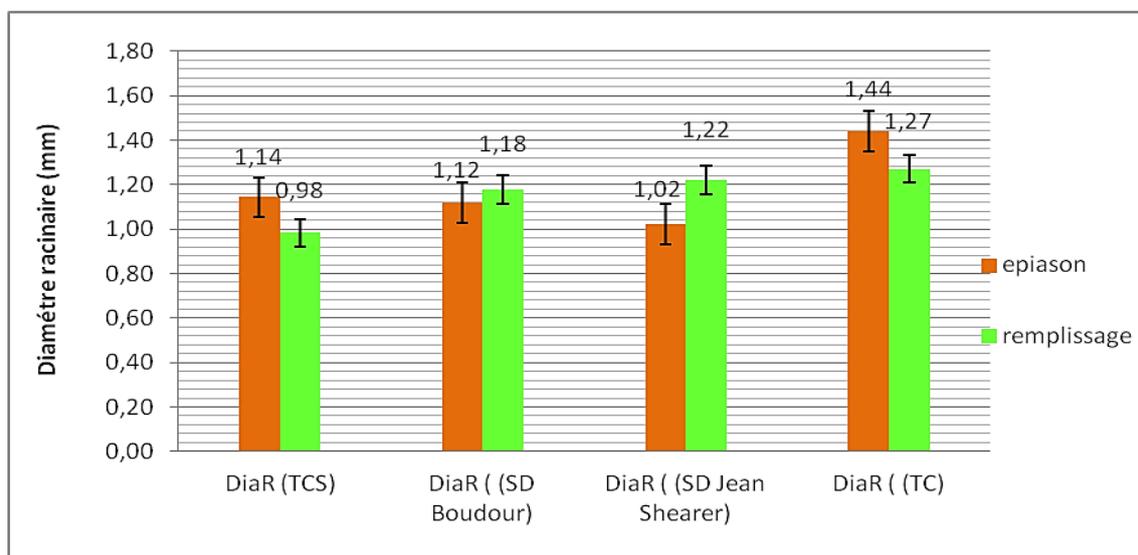
## Partie expérimentale

Les analyses statistiques montrent qu'il y a un effet hautement significatif de la technique culturale sur la densité racinaire avec une **p-value** < **0,001** dans les deux stades étudiés avec un haut degré d'influence de la technique conventionnelle par rapport aux autres techniques.

En conclusion, on peut dire que la croissance racinaire est favorisée par une bonne structure ; dans les systèmes labourés, la structure du sol est principalement créée par les opérations de travail du sol tandis que dans les systèmes non travaillés (semis direct) la structure est principalement créée par l'action du climat (en surface dans les régions tempérées) et par des processus biologiques.

### b) Diamètre des racines

La figure suivante représente la variation du diamètre des racines en fonction des techniques culturales au cours des deux stades de développement du blé dur.



**Figure 44:** variation de le diamètre racinaire de la culture du blé dur en fonction de la technique au stade épiason et remplissage des grains.

**Tableau 23:** Analyse statistique(test de student) de l'effet des techniques culturales sur le diamètre racinaire dans le stade épiason et remplissage du blé dur.

Factor		Tillage				LSD P
		TM	SD Boudour	SD John Shearer	TC	
Date of	Heading	1,14 c	1,12 b	1,02 a	1,44 d	<b>0,0001</b>
Sampling	Physiological maturity	0,98 a	1,18 b	1,22 c	1,27 d	<b>0,0001</b>

## Partie expérimentale

Le diamètre des racines mesuré au cours des deux stades de développement du blé dur, est nettement supérieur au niveau des parcelles travaillées avec la charrue à soc, ou il atteint au stade épiaison 1,44 mm contre 1,14 mm pour TCS, 1,12 mm pour SD Boudour, et 1,02 mm SD John Shearer.

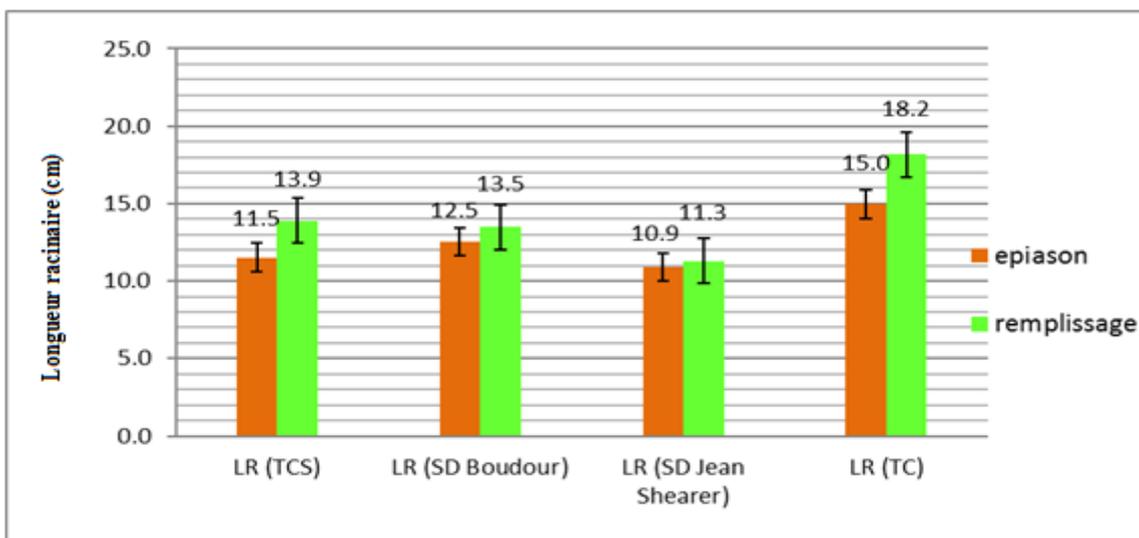
On constate aussi qu'en SD Boudour et John Shearer, le diamètre augmente du stade épiaison au remplissage contrairement au TC et TCS où il diminue.

On peut constater que la croissance racinaire est favorisée par une bonne structure ; dans les systèmes labourés, la structure du sol est principalement créée par les opérations de travail du sol tandis que dans les systèmes non travaillés (semis direct) la structure est principalement créée par l'action du climat (en surface dans les régions tempérées) et par des processus biologiques.

L'analyse statistique montre un effet hautement significatif des techniques sur le diamètre avec **p value < 0,0001** pour les deux stades mesurés.

### c) Elongation racinaire

La figure suivante représente les résultats de la variation de l'élongation des racines en fonction des techniques culturales au cours des deux stades de développement du blé dur.



**Figure 45:** variation de la l'élongation racinaire de la culture du blé dur en fonction de la technique au stade épiaison et remplissage des grains.

## *Partie expérimentale*

**Tableau 24:** Analyse statistique (test de student) de l'effet des techniques culturales sur l'élongation racinaire dans le stade épiaison et remplissage du blé dur.

Factor		Tillage				LSD
		TM	SD Boudour	SD John Sherear	TC	
Date	Heading	11,5 a	12,5 b	10,9 a	15 c	<b>0,0001</b>
of Sampling	Physiological maturity	13,9 b	13,5 b	11,3 a	18,2 c	<b>0,0001</b>

Le premier constat à tirer de ces résultats est que la croissance racinaire en longueur est plus rapide au niveau de TC elle passe de 15 cm à 18,2 cm du stade épiaison au stade remplissage. L'élongation rapide des racines au TC est due peut-être à la structure créée au niveau des couches de surface qui favorise le démarrage de la croissance, alors qu'en profondeur le sol n'est pas travaillé ou la Rp du sol est élevée l'élongation s'arrête.

Au niveau des sols menés avec SD que ce soit Boudour ou John Shearer, l'élongation racinaire est continue du stade épiaison jusqu'au stade remplissage où elle atteint la plus importante valeur au SD Boudour avec 13,5 cm contre 11,5 cm pour John Shearer.

Les analyses statistiques montrent un effet hautement significatif de la technique culturale sur le développement des racines en longueur avec un **p-value** inférieure à un dix-millième, ainsi avec un avantage de la technique conventionnelle.

Des études ont montré que, dans un sol compacté dont la résistance à la pénétration excède 2000 kPa, la longueur des racines de différentes espèces céréalières (blé, orge, maïs, triticale et seigle) est réduite d'au moins 50% par rapport à un sol non compacté. La proportion de racines secondaires augmente avec le taux de compaction du sol au détriment des racines principales (Bakken, Njo, 1987 in Destain, 2013). Un des rôles essentiels donc du travail du sol est de faciliter la croissance des racines dans un milieu contraignant, pour cela, le travail du sol permet souvent de diminuer la résistance mécanique du sol à la pénétration des racines à travers une amélioration de sa structure et par conséquent, de son humidité. Il améliore aussi l'aération du sol, facilitant les échanges gazeux au niveau de la racine. Cependant une structure trop poreuse est à éviter. Ces résultats sont au même ordre que ceux de Amara et al., 2014, qui ont montré que le système racinaire est très développé sur les parcelles labourées où la densité racinaire est de 1,101 g/dm<sup>3</sup>, ensuite c'est celui des parcelles travaillées avec le chisel où cette densité est de

0,805 g / dm<sup>3</sup>. Au niveau des parcelles du semis direct, la valeur la plus faible de la densité des racines est de 0,638 g / dm<sup>3</sup>.

Le bon développement racinaire des cultures est le garant non seulement de leur productivité mais surtout de leur tolérance aux aléas climatiques ainsi que les choix en matière de travail du sol, au niveau de l'exploitation, doivent entre autre, tenir compte de l'effet qu'aura ou non le travail sur les racines, grâce auxquelles se fera l'alimentation en eau et en éléments minéraux durant tout le cycle de développement de la plante.

### **3.3.5. Analyse de l'effet des techniques culturales sur paramètres caractéristiques des cultures**

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

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

#### **3.3.5.1 Effet des techniques culturales sur la levée de cultures**

Le peuplement à la levée garantit en grande partie de la réussite de la culture en ayant un rôle important dans la détermination du peuplement des épis, est composante importante du rendement (Abdellaoui et *al.*, 2006).

Le nombre de pieds par mètre carré est une composante de rendement très importante dans les céréales et la plus importante dans les cultures fourragères.

Ce paramètre dépend de la densité de semis, c'est-à-dire du nombre de grain par mètre carré, il dépend aussi de la faculté germinative de la variété avant semis.

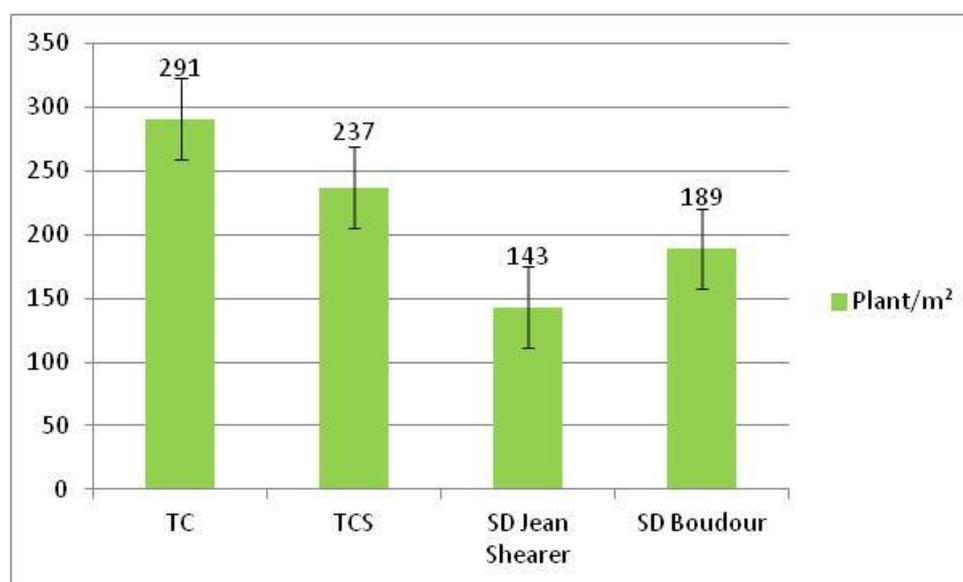
Les propriétés physico chimiques du sol ont une grande influence également sur le nombre de pieds par m<sup>2</sup>, par exemple un sol sensible au phénomène de la croute de battance est un sol qui empêche la germination et la levée de l'embryon de la graine, notamment s'il y a des pluies après l'opération de semis.

## Partie expérimentale

Sur un sol très riche en matière organique, il ne favorise pas la présence d'un grand nombre de pieds par m<sup>2</sup> pour certaines spéculations, à cause de la présence d'une très grande humidité qui favorise la pourriture de la graine avec les maladies fongiques, donc c'est un facteur limitant de la germination et de levée.

### a) Cas du blé dur

La figure ci-dessous représente la variation de nombre de pieds /m<sup>2</sup> en fonction de plusieurs techniques culturales.



**Figure 46:** Nombre de pieds levés par mètre carré par traitement.

L'histogramme nous représente clairement les bons résultats de nombre de pieds /m<sup>2</sup> sur la technique conventionnelle, plus de 291 pieds/m<sup>2</sup>, cela à cause de la bonne préparation de lit de semence.

Le nombre de plant levé par mètre carré varie entre 143 et 291 pieds/m<sup>2</sup> pour toutes techniques, le plus faible taux de levée a été enregistré au niveau des parcelles menées en SD John Shearer. Alors que le plus fort taux de levée est à mettre à l'actif des parcelles préparées avec la charrue à soc. Cela peut être due à la perturbation du sol, qui donne naissance une bonne préparation de lit de semence, qu'il permet donc un bon contact sol – graine, ajouter à cela l'humidité du sol qui est plus élevée et qui favorise la levée des plants.

**Tableau 25:** Test de **Kruskal-Wallis** sur les pieds de levé de blé.

K (Valeur observée)	21,244
K (Valeur critique)	7,815
DDL	3
p-value (bilatérale)	<b>&lt; 0,0001</b>
Alpha	0,05

**Tableau 26:** Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Steel-Dwass Critchlow-Fligner / Test bilatéral sur les pieds de levé de blé.

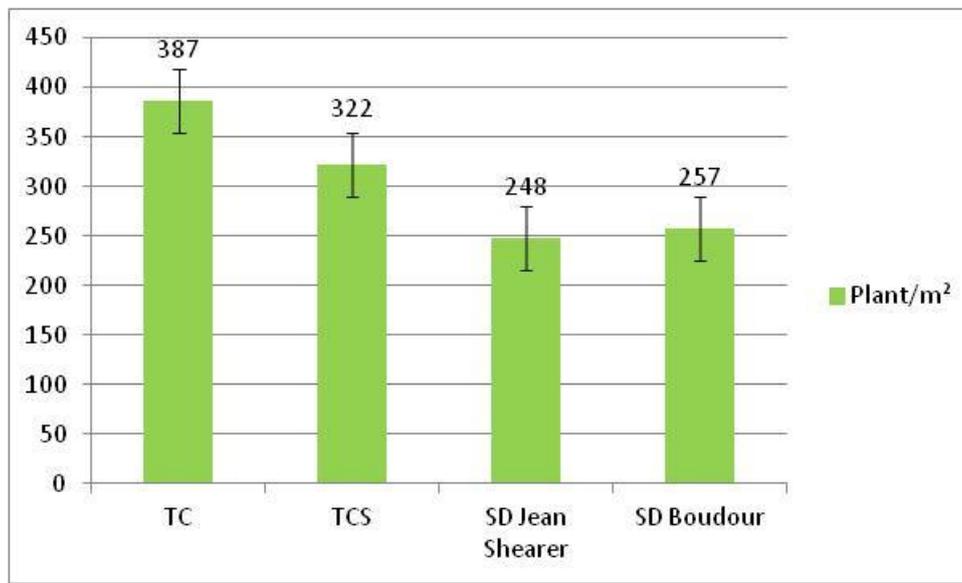
	<b>Levé/m<sup>2</sup> TC</b>	<b>Levé/m<sup>2</sup> TCS</b>	<b>Levé/m<sup>2</sup> SDD</b>	<b>Levé/m<sup>2</sup> SDT</b>
Levé/m <sup>2</sup> TC		Non	<b>Oui</b>	<b>Oui</b>
Levé/m <sup>2</sup> TCS	Non		<b>Oui</b>	Non
Levé/m <sup>2</sup> SDD	<b>Oui</b>	<b>Oui</b>		Non
Levé/m <sup>2</sup> SDT	<b>Oui</b>	Non	Non	Non

On peut conclure donc que le choix de la technique culturale à adopter a un effet considérable et non négligeable sur le nombre de plant levé par mètre carré. Cependant, le blé dur produit moins de plants lorsqu'il est semé sur sol avec pratique de semis direct. Malgré que le système Semis Direct offre une profondeur de semis beaucoup plus régulière que le semis classique grâce au contrôle hydraulique de la profondeur, il présente néanmoins, un taux de levée moins important, en effet, le nombre de plants par mètre carré, est influencé par deux conditions importantes :

- Dans les parcelles non travaillées, elles sont très riches en calcaire, et très faible en matière organique, ce qui nécessite des mécanismes de recouvrement efficaces dans le matériel de semis.
- Conditions liées à la graine regroupée sous la notion de la faculté germinative et l'énergie germinative.
- Conditions extérieures qui sont les conditions pédoclimatiques (l'eau, O<sub>2</sub>, la température, et le sol). Et ces dernières sont obtenues par un travail du sol que ce soit classique ou minimum.

### b) Cas de la lentille

L'intérêt de la connaissance de taux de levée porte essentiellement sur l'adaptation des graines de lentille aux conditions réelles c'est-à-dire 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 de la plante ainsi que sur son développement. Les résultats de la levée obtenus sont illustrés dans l'histogramme suivant :



**Figure 47:** Nombre de pieds levés par mètre carré

La figure ci-dessus présente le nombre des pieds levés par m<sup>2</sup> de lentille semée par l'utilisation de 4 techniques culturales, avec 4 semoirs différents.

Pour une densité de semis de 400 grains par m<sup>2</sup>, les pertes à la levée ont été importantes au niveau du semis direct, elle a atteint un taux de 38% pour John Shearer et 35% pour Boudour, par contre le taux de perte le plus faible a été enregistré au niveau de TC avec 4% et 20% en TCS.

En effet le semis a été réalisé très tardivement, le 25 décembre. Durant cette période, le sol est certes plus humide mais la température est plus basse ce qui ne favorise pas la levée. Ajouter à cela l'inefficacité des traitements herbicides dans les parcelles menées en Semis Direct à cause des basses températures, ce qui a augmenté la concurrence exercée par les mauvaises herbes en privant la levée de la lentille. La durée semis-levée quant à elle est plus longue en semis direct ce qui augmente le taux de pertes.

Selon **Li et al. (2008)**, le bourrage des organes d'enterrage en semis direct, suite à la présence des résidus, peut être la cause d'un mauvais semis. Selon **Bentahar et al. (2018)** à la fin de levée,

la densité de peuplement reste dépendante de la dose de semis et de la méthode de préparation du lit de semence.

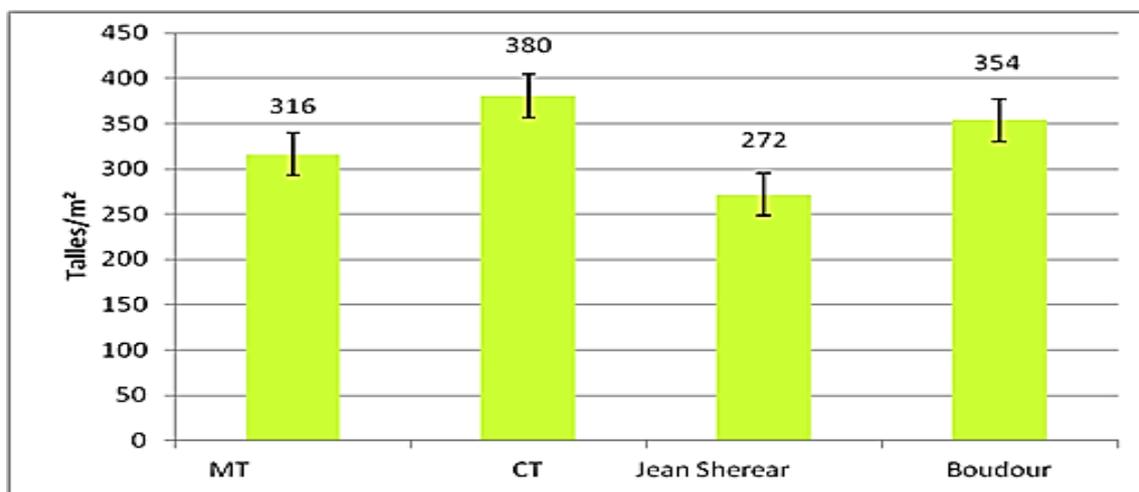
### 3.3.5.2. Effet des techniques sur le comportement des deux cultures mises en place

Dans cette partie, nous allons essayer de présenter et de discuter l'ensemble des résultats du rendement obtenus. Une analyse va permettre de dégager les effets des techniques sur les paramètres de production des deux cultures (rendement et composantes du rendement). L'examen de ces effets va s'appuyer sur un certain nombre d'hypothèses concernant les conséquences possibles d'un non travail du sol sur l'implantation et le fonctionnement de la culture, en se référant à celles jusqu'ici émises.

#### 3.3.5.2.1. Cas du blé dur

##### a) Nombre de Talles/m<sup>2</sup>

Le tallage des céréales est important pour avoir un meilleur rendement, il existe plusieurs facteurs qui contrôlent ce paramètre en céréales. La figure 48 représente le nombre de talles/m<sup>2</sup> pour le blé dur pour les 04 techniques culturales :



**Figure 48:** Nombres des talles de blé.

Les résultats montrent les faibles valeurs enregistrées en semis direct à disque John Shearer, car le semoir possède un système d'ouverture à disque, la rotation de disque forme une pellicule lisse sur le sol, empêche le développement de la plante. Donc les outils à disques ne sont pas adéquats aux sols faibles en matière organique. L'utilisation du rouleau lisse après le semis a un effet non négligeable sur le tallage des céréales.

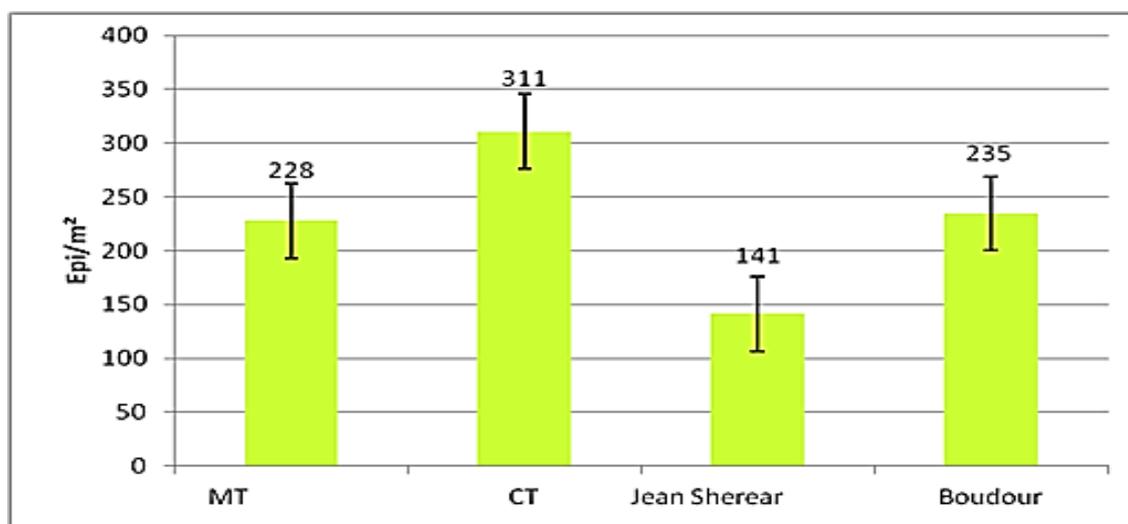
## Partie expérimentale

L'opération de mesure du tallage s'est déroulée au stade 03 feuilles, ce stade est très sensible aux changements de température, et la disponibilité des nutriments dans le sol, donc le facteur fertilisation est très important, l'amendement en azote ammoniacale est très important dans ce stade.

### b) Nombre d'épis par mètre carré

La variété est le premier facteur qui détermine le nombre d'épis par m<sup>2</sup>, avec d'autre facteur comme les techniques culturales et la nutrition de la culture.

La figure suivante représente le nombre d'épis/m<sup>2</sup>, pour les techniques culturales étudiées :

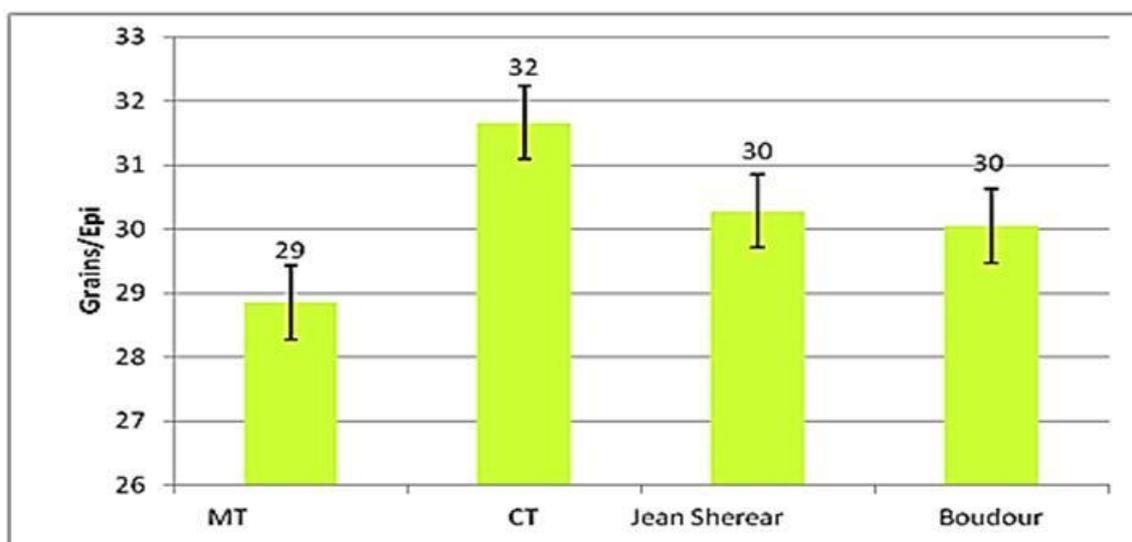


**Figure 49:** Nombre d'épis par mètre carré en fonction de technique culturale.

Le nombre moyen d'épis est de 311 pour TC contre 141 pour SD John Shearer. Alors qu'il est presque similaire entre MT et Boudour.

### c) Nombre de grains par épi

La figure ci-dessous illustre la variation du nombre de grains par épi pour les quatre techniques culturales qui sont le TC, MT, SD John Shearer, SD Boudour :



**Figure 50:** Nombre des grains par épi pour toutes les parcelles étudiées.

D'après figure, le nombre de grains est à peu près égal pour les quatre techniques avec un léger avantage pour TC ou on a une moyenne qui avoisine les 32 grains/épi contre 29 grains pour les parcelles menées en minimum. Nous notons que le nombre de grains/épi en SD est égale entre John Shearer et Boudour.

D'autres paramètres peuvent influencer le nombre de grains/épi, entre autres, la température en période de pollinisation, l'état sanitaire de la plante, mais également la fertilisation.

**Tableau 27:** Test de **Kruskal-Wallis** sur nombre de grains/épi du blé dur.

K (Valeur observée)	5,668
K (Valeur critique)	7,815
DDL	3
p-value (bilatérale)	0,129
Alpha	0,05

**Tableau 28:** Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Steel-Dwass-Critchlow-Fligner / Test bilatéral sur nombre de grains/épi du blé dur.

	Levé/m <sup>2</sup> TC	Levé/m <sup>2</sup> TCS	Levé/m <sup>2</sup> SDD	Levé/m <sup>2</sup> SDT
Levé/m <sup>2</sup> TC		Non	Non	Non
Levé/m <sup>2</sup> TCS	Non		Non	Non
Levé/m <sup>2</sup> SDD	Non	Non		Non

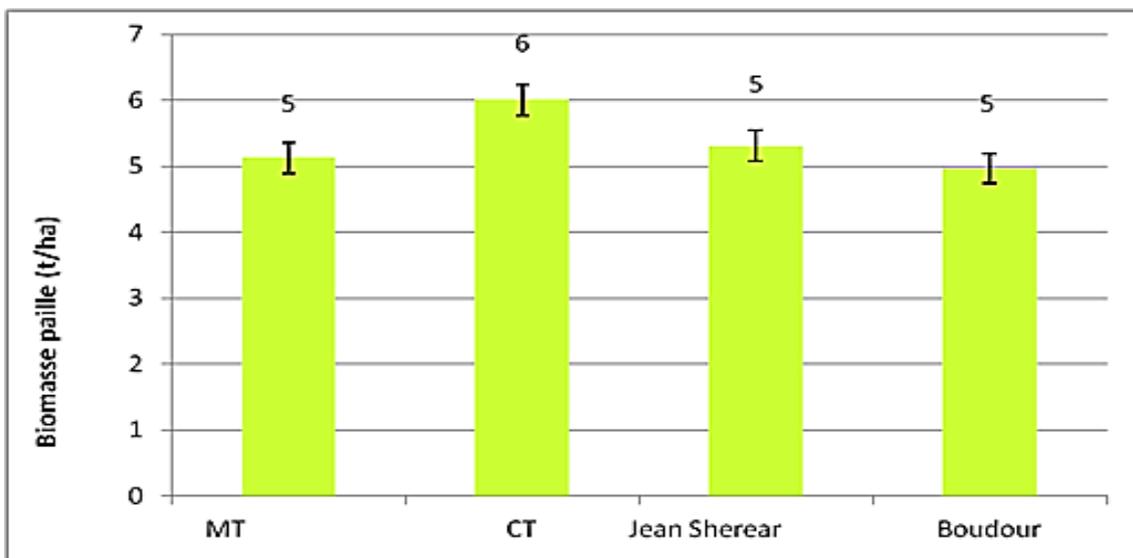
Levé/m <sup>2</sup> SDT	Non	Non	Non
-------------------------	-----	-----	-----

L'analyse de la variance ne montre pas de différence significative entre les différentes modalités de travail du sol sur le nombre de grains/épi.

### d) Rendement des paille t/h

La paille est une composante importante d'un rendement, notamment ici en Algérie, elle utilisée comme aliment de bétail, alors qu'en Europe un moyen d'amendement de matière organique.

Les agriculteurs en Algérie préfèrent les céréales avec une paille haute, les variétés de blé basse possèdent un rendement en grain supérieur notamment les variétés de blé tendre.

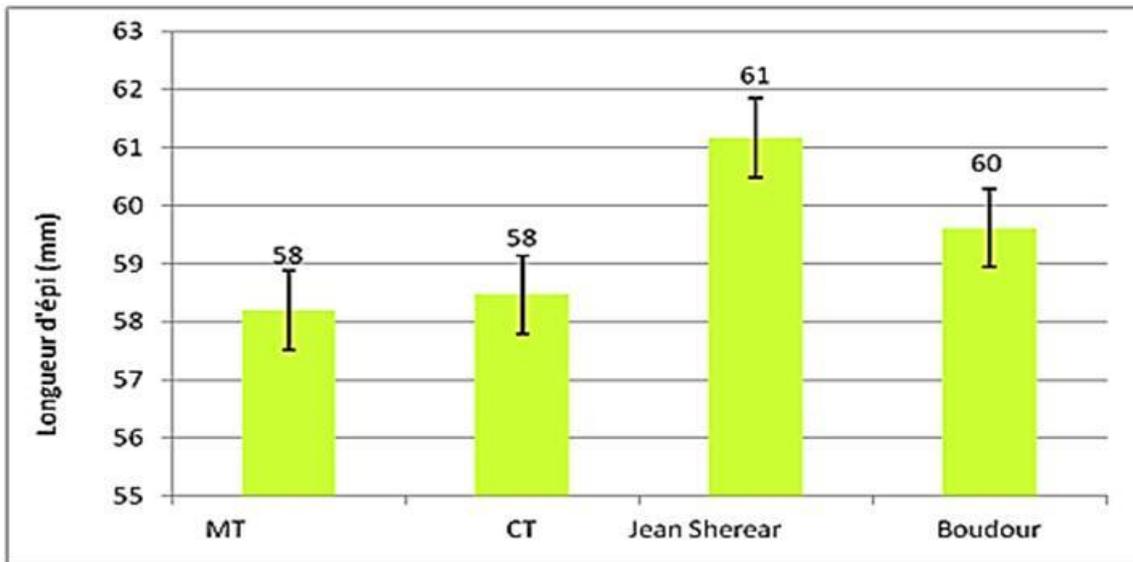


**Figure 51:** Rendement des paille t/h.

D'après l'histogramme, tous les résultats sont identiques en quantité de paille sur toutes les techniques culturales avec un avantage au TC. La quantité de paille est mesurée en tonne par hectare, ou bien par nombre de botte par hectare.

### e) Longueur des épis de blé (mm)

La figure suivante représente la variation de la longueur des épis en fonction des différentes techniques culturales :



**Figure 52:** Longueur d'épi en (mm)

Les résultats relatifs à la longueur des épis montrent qu'en travail minimum les épis sont plus longues, ce constat est valable pour les trois profondeurs de semis.

La valeur maximale a été enregistrée au SD John Shearer avec 61 mm, alors que la valeur minimale a été obtenue au MT et CT avec 58 mm.

L'analyse statistique ne révèle pas une différence significative entre les techniques culturales. La longueur de l'épi est une caractéristique variétale peu influencée par les variations du milieu plus précisément, elle est fonction de quantité d'eau réservée durant le cycle végétatif, donc d'une manière indirecte de la conservation de l'eau dans le sol, donc de l'influence des techniques culturales. Aussi la longueur des épis est proportionnellement inverse à la densité de semis.

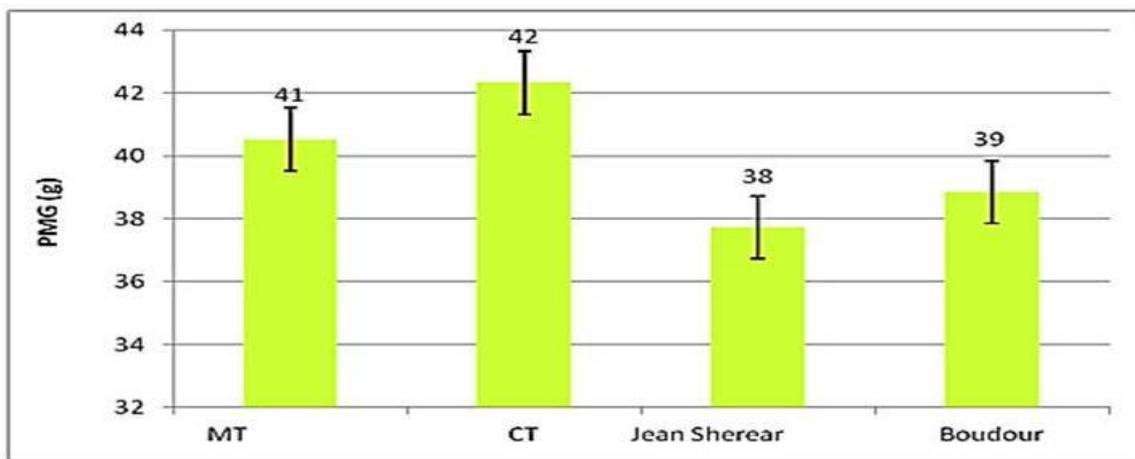
L'épi court contribue à la limitation des pertes en eau, il y a une corrélation positive liant le rendement grain à la longueur de l'épi, l'épi assure une activité photosynthétique importante au cours du remplissage du grain et sa contribution à la photosynthèse de la plante serait comprise entre 13 et 76%. En cas de déficit hydrique, la photosynthèse de l'épi participe relativement plus au remplissage que la feuille étendard.

## Partie expérimentale

Les caractéristiques de l'épi (épi court) contribuent également à une limitation des pertes en eau. Un épi court permet une meilleure compacité des grains ce qui permet de lutter contre les aléas climatiques ainsi que contre l'égrenage.

### f) Poids de mille grains PMG

Le poids de mille grains PMG est la composante importante des rendements des céréales, La figure ci-dessous représente la variation du poids de mille grains pour les quatre techniques utilisées à savoir le travail conventionnel, le semis direct (Boudour et John Shearer), et TM :

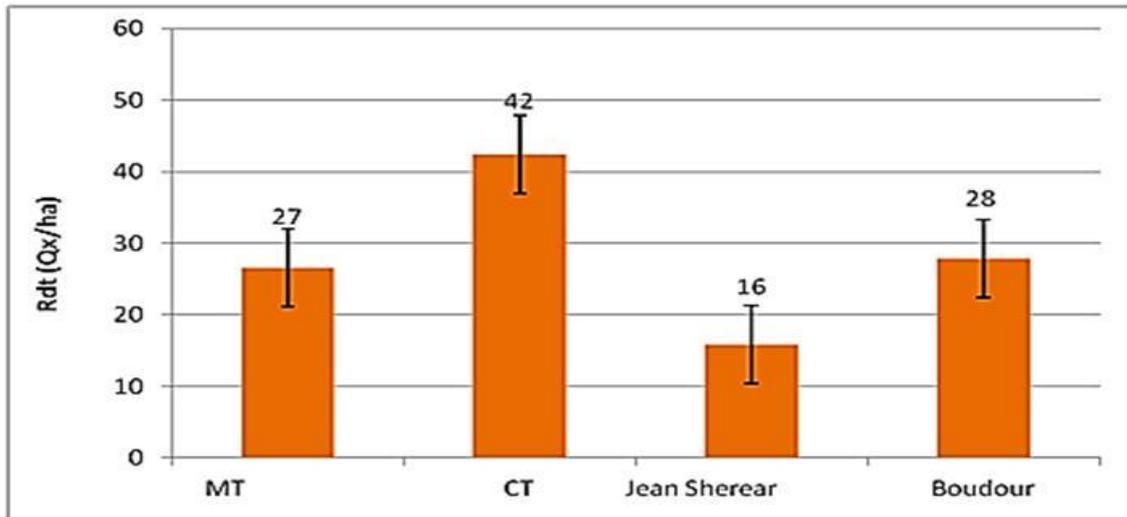


**Figure 53:** Poids de mille grains en (g).

Ce que nous pouvons constater en premier lieu dans la figure est l'effet de la technique culturale sur le poids de mille grains. Il apparaît que le poids de mille grains est légèrement meilleur pour les parcelles travaillées par rapport à celles non travaillées, la valeur moyenne enregistrée pour le T.C est de 42 g, alors que celle obtenue pour le semis direct est de 38 g en John Shearer et 39 avec Boudour, alors qu'en TM il est de 42 g.

### g) Rendement en grain estimé (q/ha)

Les résultats relatifs au rendement estimé sont représentés dans la figure suivante :



**Figure 54:** Rendement en grain estimé (q/ha).

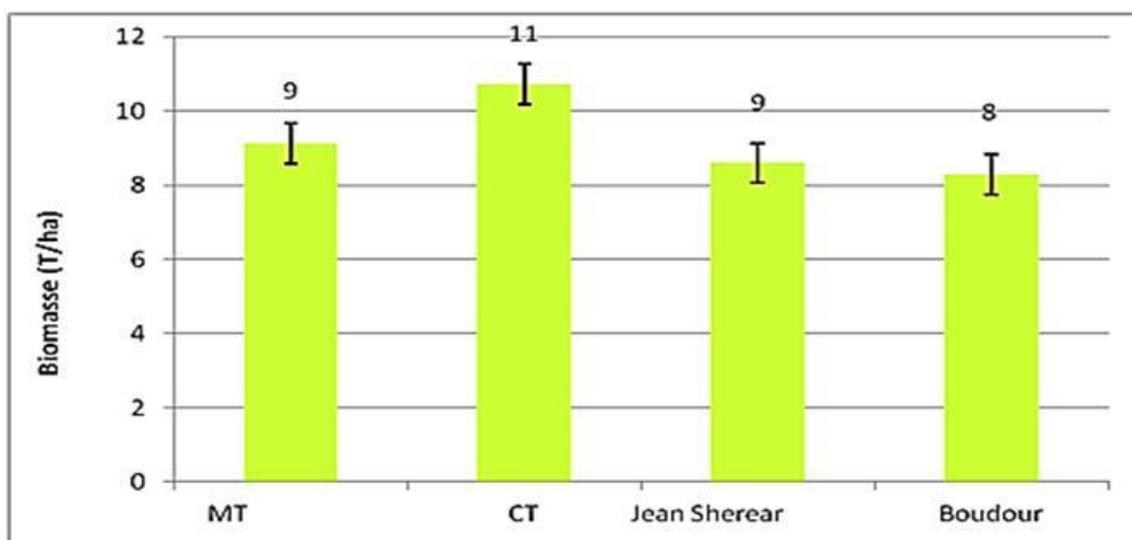
On peut constater que le rendement théorique est nettement supérieur dans les parcelles travaillées ou on enregistre un rendement théorique atteignant en moyenne 42 qx/ha dans les sols travaillés avec la charrue à socs, contre une moyenne de 16 qx/ha pour SD John Shearer.

#### **h) Rendement en biomasse (t/ha)**

La figure ci-dessous représente la variation du rendement en biomasse (t/ha) en fonction de la technique culturale :

Les résultats obtenus montrent clairement que la biomasse est plus importante au niveau de TC, contrairement aux autres trois techniques qui semblent être similaires.

Il existe plusieurs facteurs responsables de la production de biomasse en culture céréalières tels que les facteurs pédoclimatiques, les conduites de fertilisation et les propriétés chimiques du sol, notamment en pourcentage de matière organique et le pH du sol, qui favorise l'absorption des éléments nutritifs.



**Figure 55:** Rendement en biomasse en t/ha par traitement.

La biomasse aérienne accumulée est la résultante de la contribution de plusieurs caractères tels que la hauteur des chaumes, la durée de la phase végétative, la vitesse de croissance végétative et le nombre de grains produits par unité de surface. La surface de la feuille étendard et le poids spécifique foliaire sont des indicateurs de la capacité photosynthétique au cours de la phase de remplissage du grains (Abbassenne *et al.*, 1998 ; Asseng *et al.*, 2003).

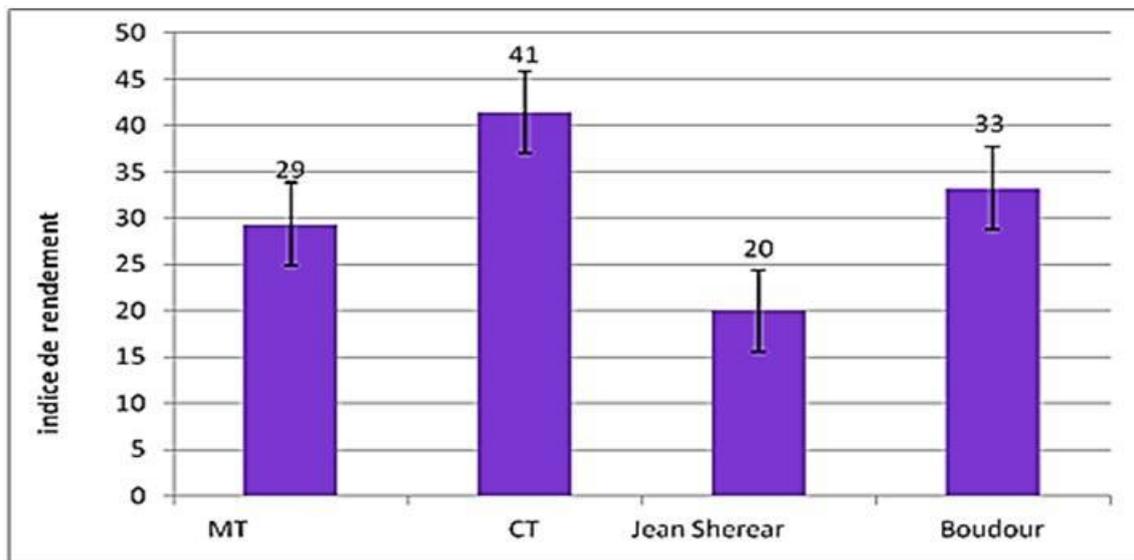
Ces résultats montrent que dans les conditions de la présente expérimentation, le travail conventionnel du sol a favorisé la production de biomasse. En semis direct, l'accroissement de la production de la biomasse est fonction du taux de la couverture du sol. Plusieurs auteurs ont rapporté l'amélioration du confort hydrique de la culture semée sous la couverture végétale. Relativement à un sol nu, l'augmentation des résidus facilite l'infiltration, réduit la vitesse du vent et du ruissellement. Elle limite l'évaporation et la remontée par capillarité de l'eau des profondeurs du sol, maintenant une humidité supplémentaire dans le sol qui est valorisée par la culture (Mrabet, 2002 ; Findeling *et al.*, 2003 ; Khaledian *et al.*, 2006). Le rythme de croissance de la céréale est plus élevé en TC qu'en SD. En SD, le taux de croissance de la culture augmente en fonction de la quantité des résidus (Fellahi, Z. *et al.* 2013).

### **i) Indice de récolte**

On rappelle que l'indice de récolte est le rapport du rendement en grains sur le rendement en biomasse aérienne totale. (Bouzerzour, 1998) rapporte que dans les milieux variables, il faut assurer une production de biomasse aérienne suffisante pour garantir rendement acceptable.

## Partie expérimentale

La figure suivante représente la variation de l'indice de récolte en fonction de la technique culturale utilisé :



**Figure 56:** Indice de récolte.

L'indice de récolte le plus élevé est constaté en travail conventionnel avec 41%, suivi du semis direct a dent (Boudour) 33 %, et TCS avec 29%, et enfin l'indice de récolte le plus faible est obtenu en semis direct à disque John Shearer avec 19%.

Ceci, montre l'intérêt d'adopter un bon itinéraire technique et surtout certaines opérations qui ont des effets bénéfiques sur la production d'une manière générale (en grains et paille), notamment la fertilisation en combinaison avec l'irrigation.

### **j) Analyse des corrélations entre les différents paramètres étudiés**

$$\text{RDT des pailles (TC)} = -0,48 + 0,60 * \text{biomasse (TC)} \text{ avec } R=0,9 \text{ -----(8)}$$

$$\text{RDT (TCS)} = -4,56 + 4,76E-03 * \text{gr/m}^2 \text{ (TCS)} \text{ avec } R=0,9 \text{ -----(9)}$$

$$\text{Indice de récolte (TCS)} = -5,28 + 0,15 * \text{épis/m}^2 \text{ (TCS)} \text{ avec } R=0,9 \text{ -----(10)}$$

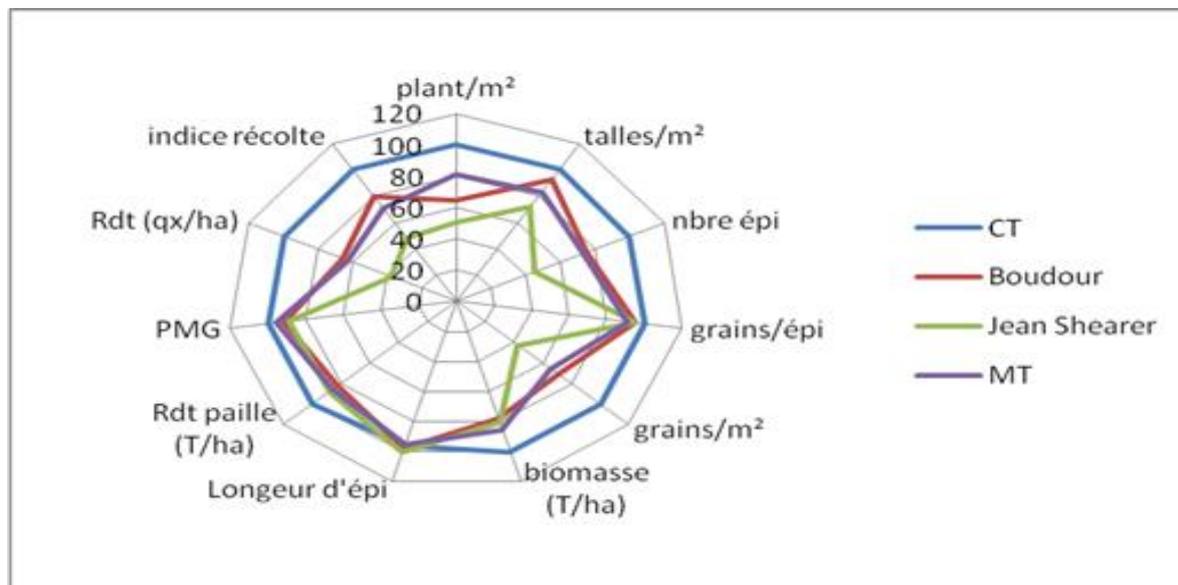
$$\text{Biomasse (SDD)} = -0,66 + 3,40E-02 * \text{talle/m}^2 \text{ (SDD)} \text{ avec } R=0,9 \text{ -----(11)}$$

$$\text{Indice de récolte (SDD)} = 139,31 - 0,80 \text{ plant/m}^2 \text{ (SDD)} \text{ avec } R=0,9 \text{ -----(12)}$$

$$\text{RDT (SDT)} = -134,32 + 0,45 * \text{talle/m}^2 \text{ (SDT)} \text{ avec } R=0,9 \text{ -----(13)}$$

$$\text{Indice de récolte (SDT)} = -114,96 + 0,41 * \text{talle/m}^2 \text{ (SDT)} \text{ avec } R=0,9 \text{ -----(14)}$$

La figure suivante est le diagramme de Kiviati ou toile d'araignée qui représente la variation de tous les composants du rendement du blé dur :



**Figure 57** : diagramme de Kiviati pour le rendement de blé dur et ses composants.

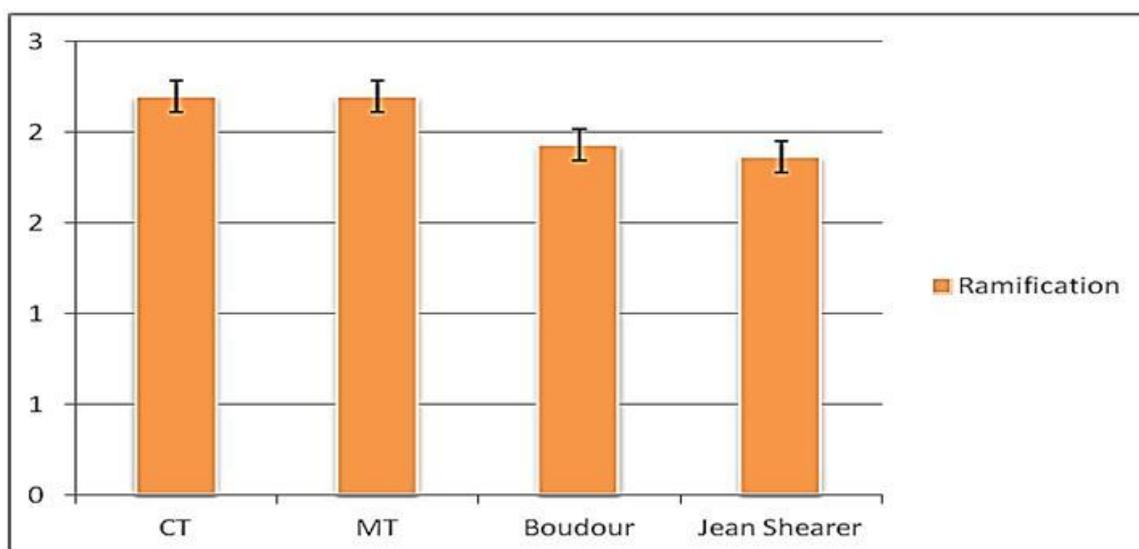
L'analyse de la variance combinée du rendement et des composantes du rendement mesurés au cours de la campagne indique un effet technique culturale significatif pour le nombre d'épis par m<sup>2</sup>, le poids de 1000 grains, le rendement grain, le nombre de grains par m<sup>2</sup> et le nombre de grains par épi. Ces résultats indiquent que les valeurs prises par ces variables sont largement influencées par la variation de la technique culturale simplifiées adoptée.

### 3.3.5.2.2. Cas de la lentille

#### a) Nombre des ramifications

En légumineuse comme la lentille et les pois chiches, la ramification de la plante est un facteur très important pour l'augmentation du rendement avec une bonne floraison, donc une ramification importante donnera une floraison importante.

Dans les cultures fourragères la maîtrise du taux de ramification n'est pas autant importante que les légumineuses et dans la production de grains, il est très important de trouver une formule technique d'équilibrer entre le taux de ramification avec les taux de feuillage, et le taux de floraison.



**Figure 58:** Nombre des ramifications

D'après l'histogramme ci-dessus il est clair que le nombre de ramifications le plus important est au niveau des sols travaillés avec charrue et chisel, il est de l'ordre de 2,2 tiges/plant, alors qu'en semis direct, on enregistre une moyenne de 1,9 tiges/plant pour Boudour et 1.7 tiges/plant pour John Shearer.

**Tableau 29:** Test de **Kruskal-Wallis** sur ramification des lentilles.

K (Valeur observée)	2,820
K (Valeur critique)	7,815
DDL	3
p-value (bilatérale)	0,420
Alpha	0,05

**Tableau 30 :** Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Steel-Dwass-Critchlow-Fligner / Test bilatéral sur ramification de la lentille.

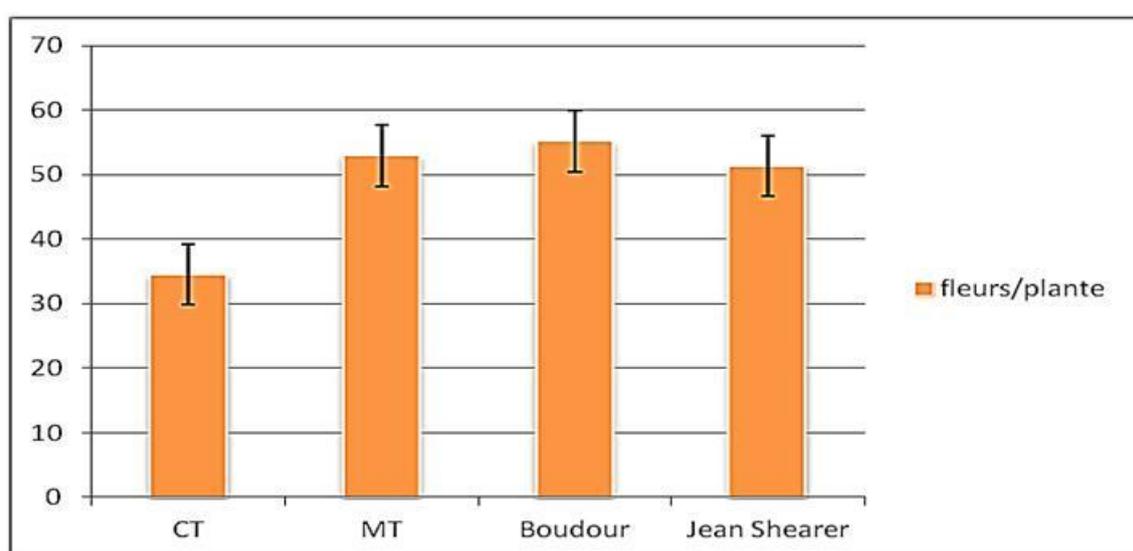
	TC	TCS	SDD	SDT
TC		Non	Non	Non
TCS	Non		Non	Non
SDD	Non	Non		Non
SDT	Non	Non	Non	

L'analyse de la variance ne montre pas de différence significative entre les différentes modalités de travail du sol sur ramification de lentille.

### **b) Nombre des fleurs**

La fleur est un organe essentiel de chaque culture, la qualité de la fleur est très importante, généralement on a trois catégories de fleurs, les premières fleurs dans les premières ramifications ce sont elles qui favorisent le rendement.

La figure suivante représente les valeurs de quantités des fleurs par plante en fonction de la technique culturale.



**Figure 59: Nombre des fleurs par plante.**

Selon les histogrammes, le nombre de fleurs est différent dans les quatre techniques culturales. Le semis direct a permis d'obtenir le plus important nombre avec 55 fleurs, contre 52 pour MT et 51 fleurs pour John Shearer. En TC, le nombre est de 31 fleurs.

**Tableau 31: Test de Kruskal-Wallis sur la floraison de la lentille.**

K (Valeur observée)	6,766
K (Valeur critique)	7,815
DDL	3
p-value (bilatérale)	0,080
Alpha	0,05

## *Partie expérimentale*

L'analyse de la variance concernant les différentes techniques culturales sur le nombre des fleurs chez le plant de lentille, est non significative.

Il existe plusieurs méthodes pour augmenter le nombre de fleur par plante, mais le choix de la variété reste toujours un élément important dans le mécanisme de floraison, car chaque variété possède une certaine capacité de floraisons, et selon les conditions physico chimiques du sol, notamment le PH, et le pourcentage de matière organique.

### **c) Nombre des nodules**

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

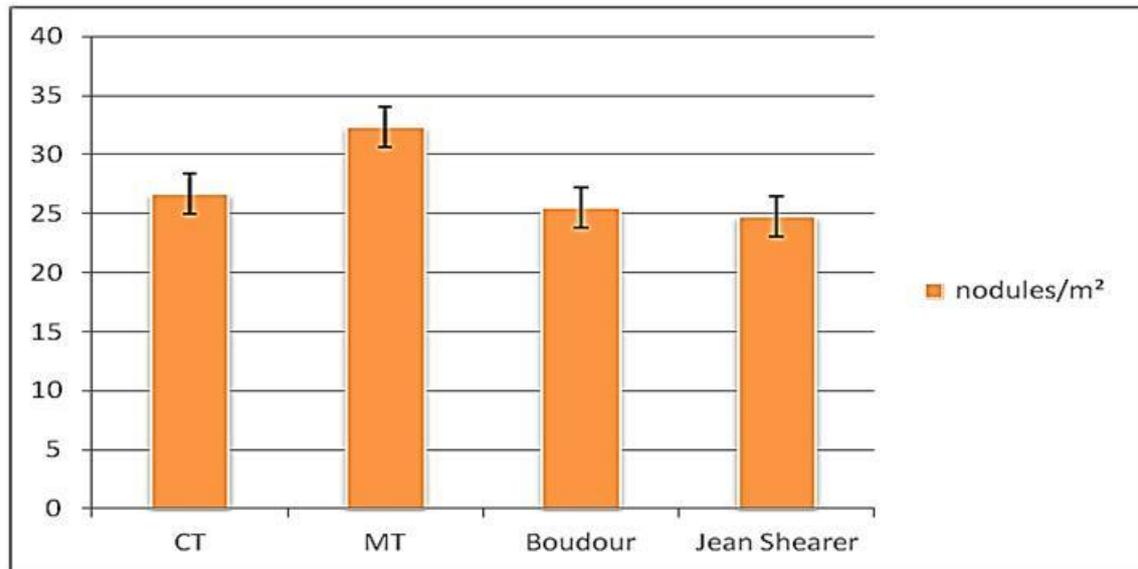
Economiquement, les nodules en association symbiotique avec les rhizobiums du sol ont une grande capacité de fixer l'azote atmosphérique dans le sol, ce qui va offrir à la plante l'autosuffisance en matière azotée, cela entraîne la limitation d'apport des engrais azotés, par conséquent la limitation 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 ses 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 nodules observés au niveau de chaque technique sont représentés par les figures suivantes:



**Figure 60:** Nombre des nodules.



**Figure 61:** la méthode de détermination du nombre des nodules par plante.

Selon la figure 61 on remarque que le nombre de nodules est important au niveau de la technique simplifiée avec 32 nodules par plante suivi par la technique conventionnelle à 26 nodules par plante. Alors, qu'en système de semis direct à dent le nombre de nodules par plante s'élève à 25 nodules par plante, par contre, le nombre de nodules le plus faible est enregistré au niveau du système de semis direct à disque, avec 24 nodules par plante.

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

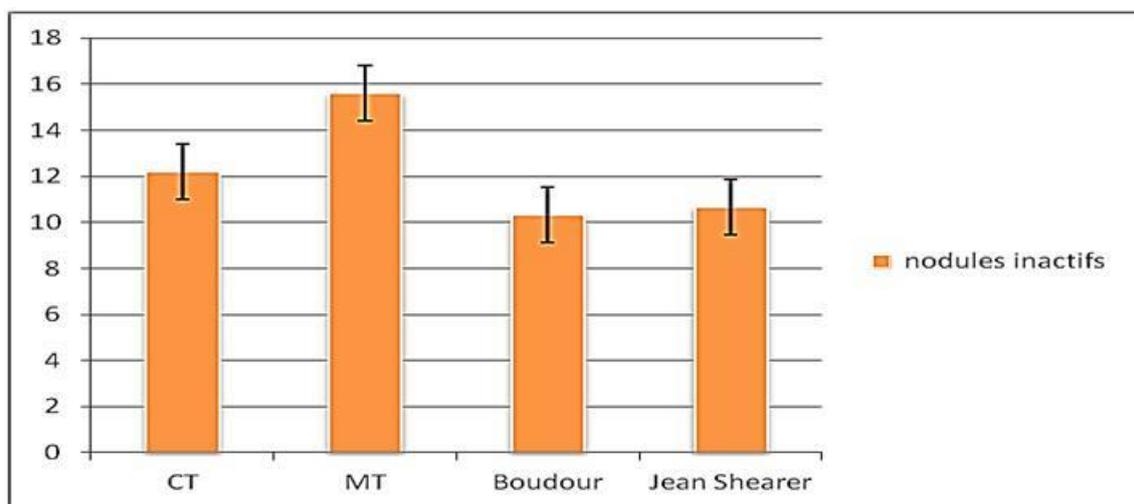
**Tableau 32:** Test de **Kruskal-Wallis** sur le nombre de nodules de la lentille.

K (Valeur observée)	5,955
K (Valeur critique)	7,815
DDL	3
p-value (bilatérale)	0,114
Alpha	0,05

L'analyse de la variance concernant les différentes techniques culturales sur le nombre de nodules chez la lentille, est non significative.

### d) Nombre des nodules inactifs

La figure suivante représente l'effet des 4 technique culturelles sur le nombre des nodule inactifs de lentille



**Figure 62:** Nombre des nodules inactifs.

D'après les résultats obtenus, on enregistre la valeur la plus élevée des nodules inactif dans les parcelles travaillées avec le chisel, pratiquement 16 nodules par plante, et dans les parcelles travaillées conventionnellement une moyenne de 13 nodules par plante. Par contre en semis direct, le nombre est plus faible il ne dépasse pas les 10 nodules.

**Tableau 33:** Test de **Kruskal-Wallis** sur le nombre de nodules inactifs de la lentille.

<b>K (Valeur observée)</b>	<b>4,794</b>
<b>K (Valeur critique)</b>	7,815
<b>DDL</b>	3
<b>p-value (bilatérale)</b>	0,188
<b>Alpha</b>	0,05

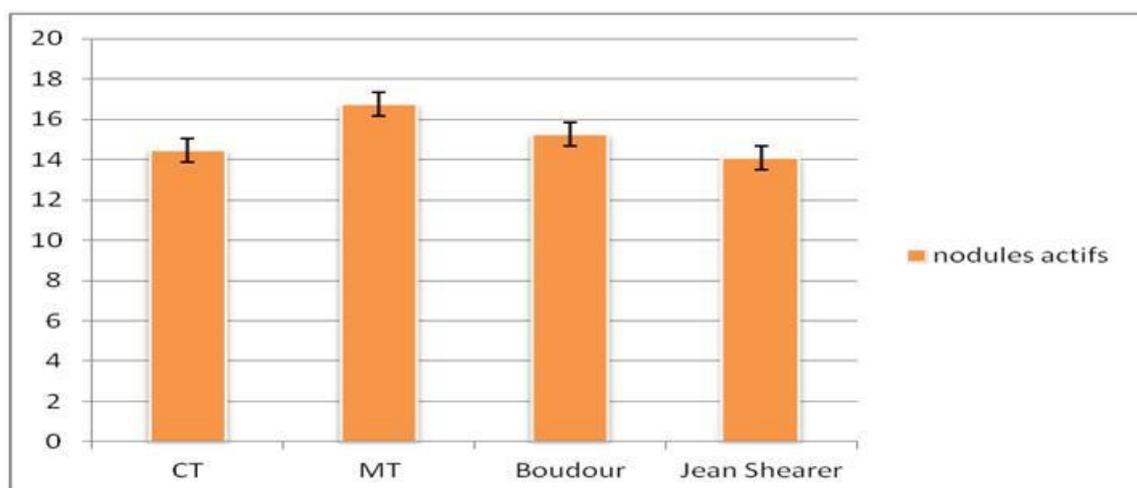
**Tableau 34:** Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Steel-Dwass-Critchlow-Fligner / Test bilatéral sur les nodules inactifs de la lentille.

	<b>TC</b>	<b>TCS</b>	<b>SDD</b>	<b>SDT</b>
<b>TC</b>		Non	Non	Non
<b>TCS</b>	Non		Non	Non
<b>SDD</b>	Non	Non		Non
<b>SDT</b>	Non	Non	Non	

L'analyse de la variance ne montre pas de différence significative entre les différentes modalités de travail du sol les nodules inactifs de la lentille.

### e) Nombre des nodules actifs

La figure suivante représente l'effet des 4 technique culturelle sur le nombre des nodule inactifs de lentille



**Figure 63:** Nombre des nodules actifs.

D'après les résultats obtenus, on enregistre la valeur la plus élevée des nodules inactif dans les parcelles travaillées avec le chisel, pratiquement 17 nodules par plante, et dans les parcelles travaillées conventionnellement et celles menées avec Boudour une moyenne de 15 nodules par plante. Par contre en semis direct avec John Shearer, le nombre est plus faible il ne dépasse pas les 14 nodules.

**Tableau 35:** Test de **Kruskal-Wallis** sur le nombre de nodules actifs de la lentille.

<b>K (Valeur observée)</b>	<b>1,564</b>
<b>K (Valeur critique)</b>	7,815
<b>DDL</b>	3
<b>p-value (bilatérale)</b>	0,668
<b>Alpha</b>	0,05

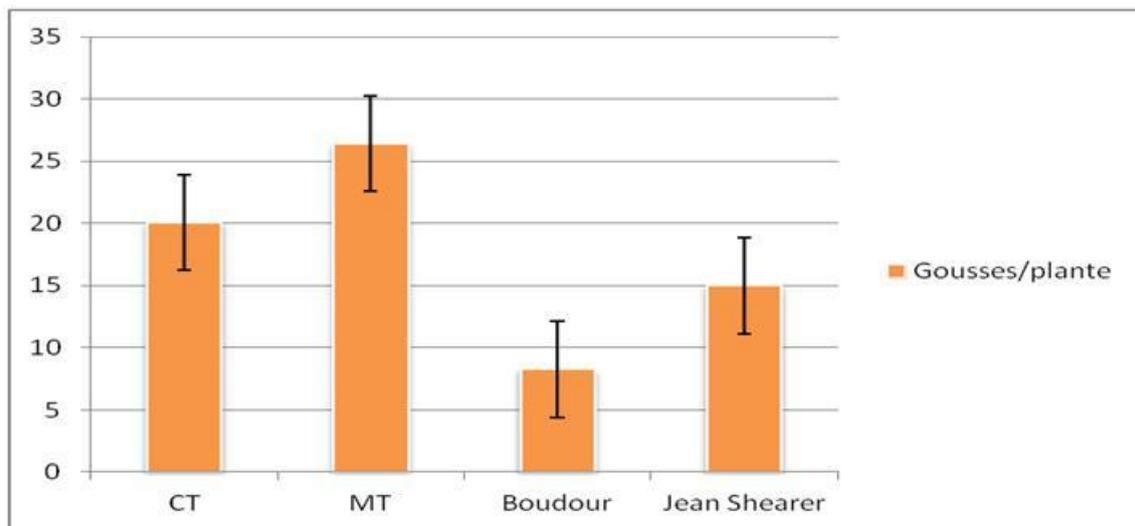
**Tableau 36:** Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Steel-Dwass-Critchlow-Fligner / Test bilatéral sur les nodules actifs des lentille.

	<b>TC</b>	<b>TCS</b>	<b>SDD</b>	<b>SDT</b>
<b>TC</b>		Non	Non	Non
<b>TCS</b>	Non		Non	Non
<b>SDD</b>	Non	Non		Non
<b>SDT</b>	Non	Non	Non	

L'analyse de la variance ne montre pas de différence significative entre les différentes modalités de travail du sol les nodules actifs de la lentille.

### f) Nombre des gousses par plante

La figure suivante représente l'effet des 4 technique culturelle sur le nombre des gousses par plante.



**Figure 64:** Nombre de gousses par plante.

D'après l'histogramme présenté ci-dessus, on remarque que le travail simplifié enregistre un nombre de gousses par plant le plus élevé avec 26.4 gousse/plant, alors que le travail conventionnel enregistre un taux de 20.07 gousses par plant, le nombre de gousses par plant le plus faible est enregistré en semis direct avec John Shearer avec un nombre de 15 gousses par plant, par contre, chez le semis direct à dent on a obtenu la plus faible quantité de 8.2 gousses par plant.

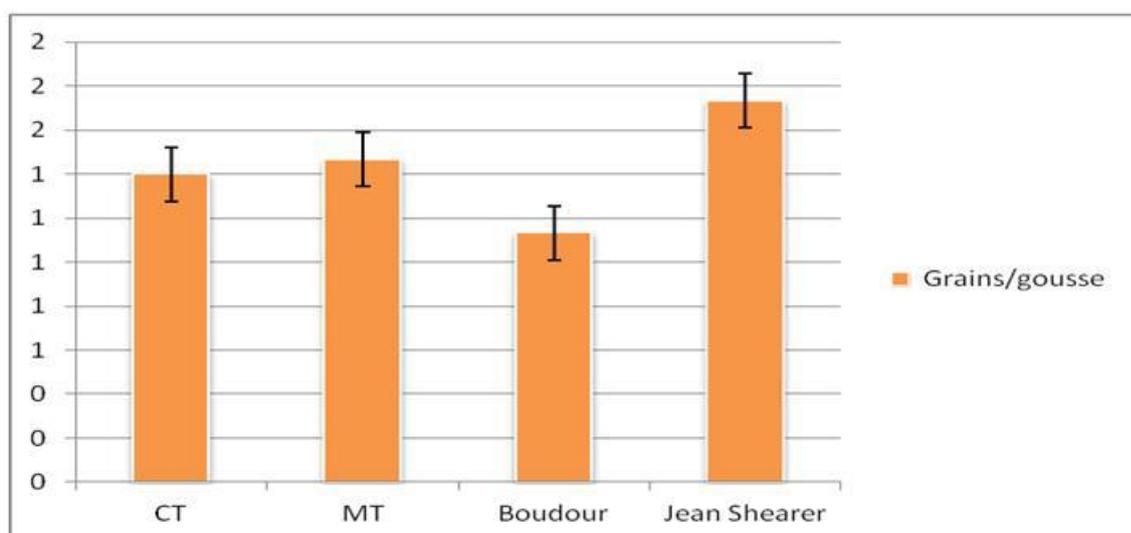
**Tableau 37:** Test de **Kruskal-Wallis** sur le nombre de gousses/plant.

<b>K (Valeur observée)</b>	<b>4,794</b>
<b>K (Valeur critique)</b>	7,815
<b>DDL</b>	3
<b>p-value (bilatérale)</b>	0,188
<b>Alpha</b>	0,05

L'analyse de la variance ne montre pas de différence significative entre les différentes modalités de travail du sol sur le nombre de gousses/plant de la lentille.

### **g) Nombre des grains/gousse**

Le nombre de grains par gousse de la culture de la lentille dépend de beaucoup de paramètre, parmi lesquelles on cite la variété de la lentille qui possède une influence directe sur le nombre des grains par gousse, sans oublier le travail du sol qui facilite l'utilisation des réserves nutritifs du sol.



**Figure 65:** Nombre des grains/gousse.

Le nombre des grains par gousse par mètre carré est un paramètre important pour la détermination du rendement de la lentille, pour cela on remarque que le nombre de grains par gousse est meilleur dans les parcelles menées en semis direct avec une moyenne 1.73 grains par gousse, suivi par la technique conventionnelle et la technique simplifiée qui sont presque similaires (1.46 en TCS et 1.46 en TC).

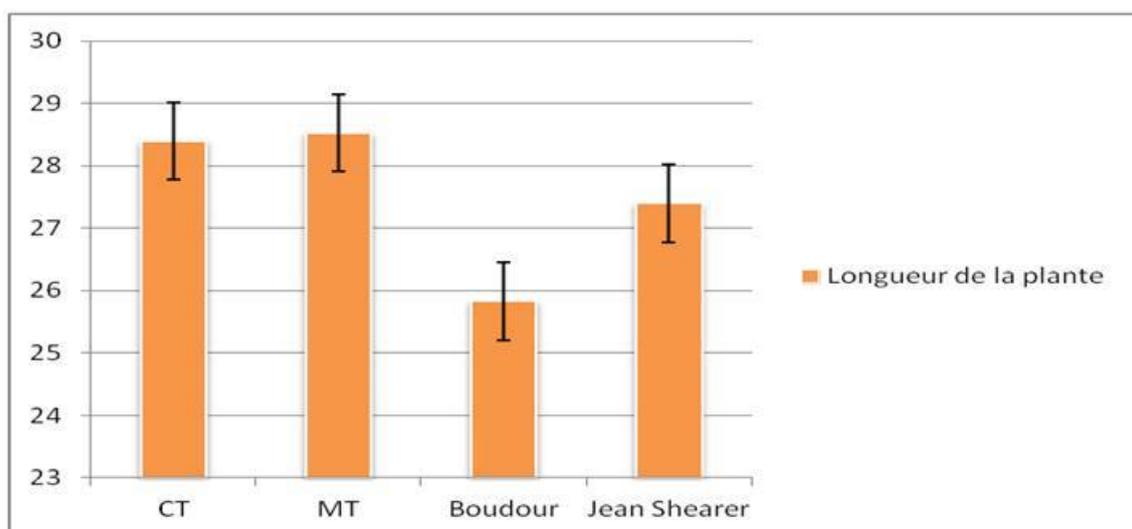
**Tableau 38:** Test de **Kruskal-Wallis** sur le nombre grains/gousse.

K (Valeur observée)	7,969
K (Valeur critique)	7,815
DDL	3
p-value (bilatérale)	0,047
Alpha	0,05

L'analyse de la variance montre un effet significatif entre les différentes modalités de travail du sol sur le nombre de grains/gousse de la lentille.

### **h) Hauteur finale de la tige en cm**

Les résultats de la hauteur finale de la tige de la lentille obtenus durant la campagne sont présenté dans la figure suivante :



**Figure 66:** Longueur finale des plantes.

**Tableau 39:** Test de **Kruskal-Wallis** sur la hauteur de la plante.

<b>K (Valeur observée)</b>	<b>7,969</b>
<b>K (Valeur critique)</b>	7,815
<b>DDL</b>	3
<b>p-value (bilatérale)</b>	0,047
<b>Alpha</b>	0,05

## *Partie expérimentale*

L'analyse de la variance révèle une différence hautement significative entre les 04 techniques culturales, les tiges sont plus hautes au niveau de TM avec une moyenne de 28,52 cm, contre 28,42 cm pour le travail minimum. Quant au SD John Shearer il est à 27 cm et 25 cm pour Boudour.

La hauteur de la plante apparaît comme un critère de sélection important, trouve une liaison positive et significative entre le rendement et la hauteur de la plante : les plantes courtes sont plus productives que les plantes à haute. Il est à noter que la hauteur élevée des pailles constitue un avantage important en favorisant une bonne résistance à la sécheresse, ceci s'expliquerait d'une part : par le fait qu'une plante haute s'accompagne souvent d'un système racinaire profond ce qui conférerait à la plante une capacité d'extraction de l'eau supérieure, d'autres part : Selon Monneveux et al. , (1986), c'est grâce au constituant glucidique qu'elle conserve et que contribuent à l'élaboration de la matière sèche des grains en cas de déficit hydrique. Fisher et Maurer (1978) mentionnent que les blés hauts ont un indice de sensibilité à la contrainte hydrique plus faible comparativement aux blés bas.

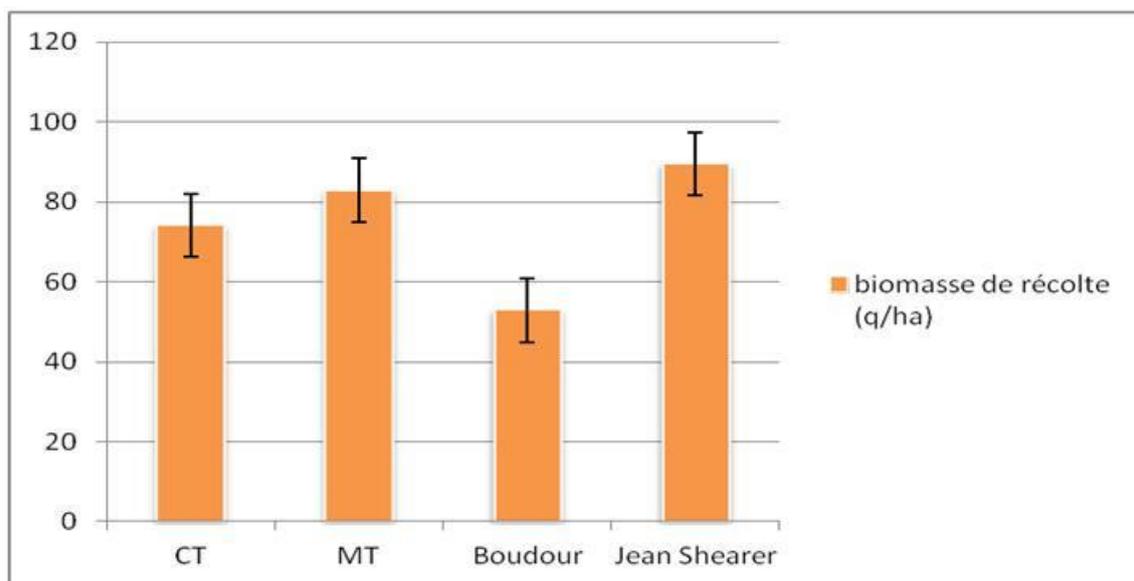
Il est vrai que la hauteur des plants est une caractéristique variétale, mais l'apport d'azote d'un côté agit positivement sur la hauteur de la tige en favorisant l'allongement des entre nœuds, et d'autre coté le choix de la technique à adopter peut influencer ce paramètre.

La hauteur de la tige des légumineuses peut être affectée par l'état des parcelles vis-à-vis des mauvaises herbes. Selon Melakhessou (2007), la différence marquée par la hauteur de la tige des différents échantillons de la lentille sur lesquelles ont eu lieu les mesures, peut être due à la présence importante des mauvaises herbes (moutarde et le gaillet et autres) au niveau des parcelles de la lentille.

### **i) Biomasse de récolte de la lentille**

La figure ci-dessous représente la variation de la biomasse de récolte qx/ha en fonction de la technique culturale utilisée.

Dans les parcelles menées en SD avec John Shearer, on a enregistré le rendement en biomasse fraîche moyenne le plus élevé avec 89.52 qx/ha, suivi du travail simplifié avec 82.9 qx/ha, alors qu'en travail conventionnel on a obtenu 74.46 qx/ha, et le plus faible rendement est à mettre à l'actif du SD Boudour avec une biomasse de 52.92 qx/ha.

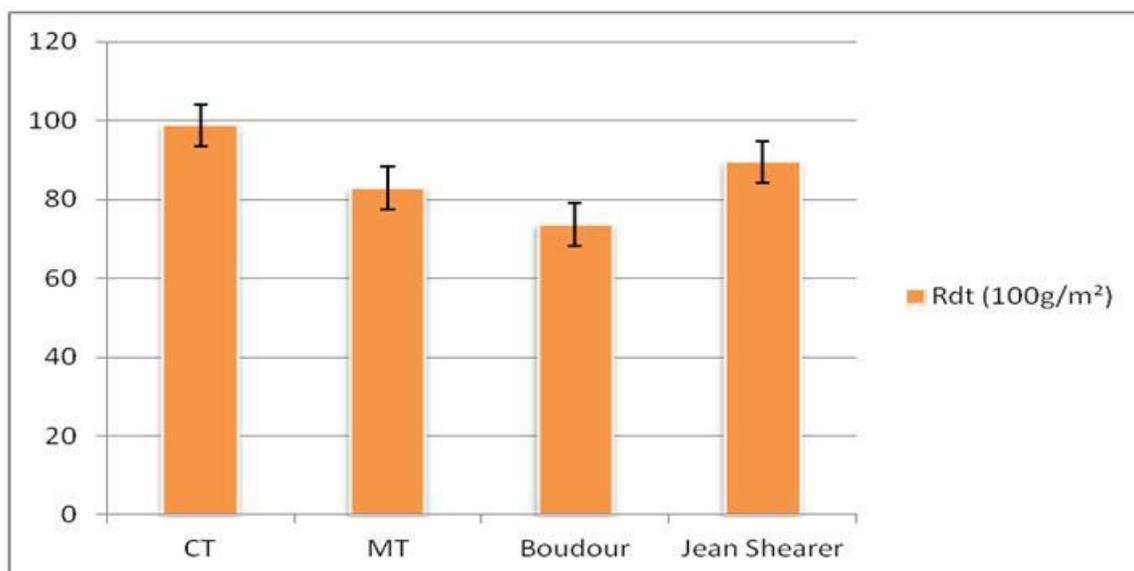


**Figure 67:** Biomasse de récolte de la lentille.

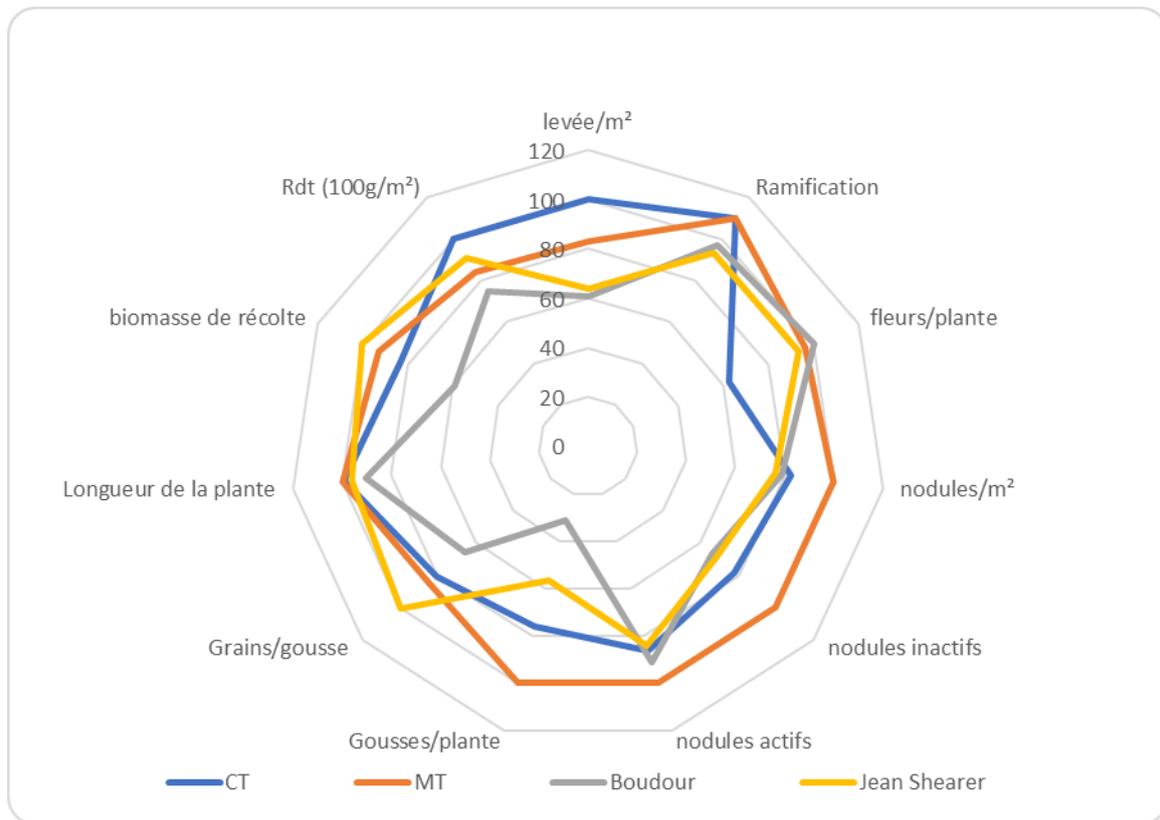
### **j) Rendement en grain estimé (g/m<sup>2</sup>)**

La récolte de la lentille a été réalisée manuellement, par ce que la récolte mécanisée de cette culture engendre d'énormes pertes, notamment avec des moissonneuses batteuses conventionnelles.

La variation du rendement de la culture de la lentille est représentée dans la figure suivante :



**Figure 68:** Rendement en grain estimé de la lentille (g/m<sup>2</sup>).



**Figure 69** : diagramme de Kiviat pour le rendement de la lentille et ses composants.

La valeur moyenne la plus élevée du rendement estimé de la lentille est  $97\text{g/m}^2$ , elle est enregistrée au niveau des parcelles travaillées avec la charrue à soc, suivi du SD à disque (john shearer) avec un rendement de  $89\text{g/m}^2$ , et  $82\text{g/m}^2$  obtenue par la technique culturale simplifiée, et enfin le plus faible rendement est de l'ordre de  $76\text{g/m}^2$  pour SD à dent (Boudour).

**CHAPITRE 05 :**

**IMPACT DE LA SUCCESSION**

**DES OUTILS ARATOIRES**

**SUR LE COMPORTEMENT**

**PHYSICO-MÉCANIQUE DU**

**SOL ET CONSÉQUENCES**

**SUR L'ENRACINEMENT DU**

**BLÉ DUR DANS LA MITIDJA.**

### **Chapitre 05 : Impact de la succession des outils aratoires sur le comportement physico-mécanique du sol et conséquences sur l'enracinement du blé dur dans la Mitidja.**

Ce chapitre correspond à l'article soumis à *Algerian Journal of Environmental Science and Technology* et intitulé : *Effects of various cultivation methods on clay loam soil properties and wheat root in Mediterranean climate*. Son objectif est l'étude de l'impact des outils aratoires sur l'état structural du sol, il porte principalement sur une analyse de certaines propriétés physiques du sol ; comme la porosité et la teneur en eau du sol et mécanique ; comme la résistance pénétrométrique du sol sous l'action de trois chaînes d'outils aratoires de travail du sol. L'objectif de cette partie est de montrer que chacune des chaînes de préparation du sol modifie l'état structural initial du sol.

## Effects of various cultivation methods on clay loam soil properties and wheat root in Mediterranean climate

S. Echcherki, M.A. Feddal<sup>1\*</sup>, R. Labad<sup>1</sup>, A. Yachi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratory for the control of water in agriculture, National Higher school of agronomy (ENSA), ES16.03, Dept. of agricultural engineering, El Harrach, Algeria.

\*Corresponding author: feddalamine@gmail.com ; Tel: +213 559 655 632

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received : 08/07/2020

Accepted : 09/12/2020

#### Key Words:

soil water content; Bulk density; Penetration resistance; tillage; roots.

### ABSTRACT/RESUME

**Abstract:** The objective of our study is to compare the effect of agricultural soil preparation on the physicommechanical properties of the soil and the consequences on the root system of wheat. To achieve these goals, three technical tillage chains (chain 1: deep tillage, chain 2: agronomic tillage, chain 3: no-tillage), were compared in the same pedoclimatic and historical situations. The experiment was carried out on silty clay soil in the experimental station of the National Higher School of Agronomy (Algiers).

The results show that the techniques affect soil's properties and the root system differently. The agronomic tillage has the best favorable effect on soil humidity, Bulk density, and soil Penetration resistance (11,1%;50%; 0.6 MPa) (p-value :0,0001). Concerning the roots, the density, the diameter, and length were better when the soil is deeply tilled, non-tilled, or agronomical tilled, respectively (CH1:3.37 g/dm<sup>3</sup>; CH3:1.38 mm; CH2:12.23 cm). Examining all the results of this study has shown how tillage is reflected in and contributes to the farmer's orientation towards the right choice to optimize and conserve soil and water at the same time. Thus, under this study's experimental conditions, the technical itinerary of tillage with agronomic ploughing seems to be an alternative to conventional ploughing. This method of tillage is easily feasible from a technical point of view. Besides, it can generate economic gains compared to ploughing. However, its impacts on the soil and crop yields need to be studied in the longer term

### I. Introduction

The scarcity and reduction of water resources, due to drought and irregular rainfall, is the major problem threatening Algerian agriculture. This problem is exacerbated by the failure of farming practices used by farmers, including tillage and the management of crop residue and weed. Besides, it would be interesting to remind that the establishment of field crops is very demanding in terms of energy needs.

Tillage is an ancestral practice, one of the primary aims to create a favorable environment for seed germination and root development [14]. The first tool for burying and covering seeds appeared around 10,000 years ago in the Sumerian civilization. Then was gradually perfected over the centuries until the

first "Roman plough" described by Virgil around the first year of humanity. The "modern plough" was designed in the United States by Thomas Jefferson in 1784 and patented by Charles Newfold in 1796.

Its use was widespread and quickly became one of the symbols of modern agriculture [16]. Nowadays, plowing with a moldboard plow is the most frequent tillage technique in the world. This practice has made it possible to increase crop productivity thanks in particular to its action in controlling weed development and the fragmentation of soil structure.

However, during the 20th-century new soil

fertility problems emerged, particularly in the United States, where serious erosion problems ("Dust Bowl") led to the development of alternative techniques to plowing. This movement was initiated by Edward Faulkner, who published the book "Plowman's Folly" in 1942 [16]. Since then, the results of numerous researches under different climatic zones in the world have revealed problems common to plowed soils: compaction, organic matter's decrease, erosion, limitation of water circulation [14]; [16]; [4] and the energy and financial cost of this practice (Monnier, 1994). As a result, in the last few decades, the world shifted to various forms of soil tillage without turning the soil layers, up to direct seeding. In comparison, the conventional plowing (plowing with moldboard, turning the topsoil layer to a depth of 20-30 cm) is going less and less used. These techniques were grouped under simplified cultivation techniques, or conservation agriculture, when they leave more than 30% of the residues of the previous crop on the soil surface [14]; [15]; [6]. The presence of mulch on the surface and the limitation of vertical soil disturbances protect the soil from wind and water erosion, limit MOS losses. Besides, mulch promotes soil biological activity and makes it possible to increase the working width of implements and thus reduce farmers' workload without reducing crop yields [13]; [14]; [3]; [7]; [9]; [12].

In Algeria, the results of research carried out over ten years, notably by [1], [5], [11], [2] and [10] have shown that the direct seeding system presents many problems. The development of direct seeding has increased the use of herbicides necessary to control the growth of weeds which is no longer ensured partially by ploughing. These systems are therefore efficient but at high chemical input costs, thus increasing their potential to pollute surface water. Field surveys show that the few farmers using direct seeding are questioning the effect of these techniques on the development of weeds and the adaptation of their equipment stock.

Another observation to be credited to Algerian farmers is the ignorance of the techniques adapted to local conditions and lack of knowledge related to the use of agricultural equipment, where we noticed significant differences in the yield of crops grown under identical environmental conditions. Moreover, the variation in yield is due, among other things, to the different physicochemical characteristics of the soil, which leads to questioning the choice of tillage equipment. Consequently, it shows the lack of information of the decision-maker (the farmer) about the impact of the different tools on land's state, in various types of soil and variable climatic conditions. Hence, the interest in characterizing the effect of implements on the soil and being able to predict the quality of work that will be obtained under given soil conditions by a chosen sequence of tools and according to a known operation method.

Many technical and scientific references on the impact of tillage methods on soil quality are available; but, these researches highlight the comparison between conventional tillage, minimum tillage, and direct seeding. Otherwise, our work introduces the toolchain comprising conventional tillage, agronomic tillage and comprising no-tillage with an offset disk.

The question we asked ourselves before starting this study is what will be the best way to improve the structural state of the soil, with the tools that the majority of Algerian farmers have at their disposal. As well, we know that almost all farmers have an offset disk, disc, or share plow on their farms and sometimes a harrow, a smooth, or croskill roller.

Therefore, the objective of this study is to compare the impact of chains farming tools on the physicochemical properties of the soil and the possible consequences on wheat rooting.

To achieve these objectives, we compared three technical tillage chains in the same pedoclimatic and historical situations. The treatments were chosen to represent a gradient of tillage intensification. Each system maintains a minimum level of mechanization to control weed development and prepare the seedbed. These tillage practices are being studied in the context of cereal production.

**II. Materials and methods**

The experiment was conducted on a field located at the experimental station of the National Higher School of Agronomy (ENSA), which is situated at Belfort in el Harrach Algiers state. The soil of the field has clay loam texture, according to the USDA classification, with the content is presented in the below table:

Clay	Fine silt	Coarse silt	Fine sand	Coarse sand
39.5%	20.2%	3.96%	20%	13.6%

We chose to crop the Vitron wheat variety. This variety spies the first third of April in the coastal areas and at the end of April in the high plains. Moreover, the Vitron variety has an average tillering and slightly higher fertility than Waha (it has an average of 50 to 60 grains/spike). Also, it has a high PMG (thousand-grain weight), according to ITGC, 2011.

The seeding rate was 120 kg/ha and 2.5 cm deep, corresponding to an average grain of 300 per square meter, which is the rate recommended by the ITGC (Technical Institute for Field Crops) for the study area.

The average temperature registered during the experimentation period was 14.5°C, with a rainfall average of about 266 mm, which is exceptional compared to the regional average of 749 mm.

### II.1 Equipment used

Taking into account the geometry and topography of the plots and considering the objectives of our experiment, we used the block device. The experimental field measure 0.54 ha in size, while the trial blocks are 500 m (50 m long and 10 m wide) separated by 1 m wide grassed strips. Giving nine blocks, three for each tool chain level (CH). The three combined tool chains of soil tillage referred to as levels of work are described in table 1.

For all the experiment, AGRIC PSM 30 seed drill coupled to a JOHN DEERE 5605 tractor was used for sowing operation

Level	Name	Chain
Level 1 (CH1)	Conventional Tillage	Plough with shares (30 cm deep) - offset disk - vibrocultivator - roller.
Level 2 (CH1)	Agronomique Tillage	Plough with shares (15 cm deep) - offset disk - vibrocultivator - roller.
Level 3 (CH3)	Minimum Tillage	Offset disk - vibrocultivator - roller

### II.2 Methodology

#### II.2.1 Soil bulk density measurement

We used the Coring method to collect soil, which is the most commonly used method. Briefly, a cylinder of known volume (400 cm<sup>3</sup>) with a sharpened end is mechanically driven in the ground and then cleared by digging around it. To determine the bulk density samples were taken from three broad horizons (0, 10, 30 cm), then drying it in the oven (at 105°C for 24 hours). In the end, the samples were weighed, and the bulk density was calculated using the dry weight and the volume of the soil sample.

$$\rho_{as} = \frac{P}{V}$$

With:

$\rho_{as}$  : Bulk density; P: weight of the dry sample; and V: volume of the soil sample.

#### II.2.2 Soil water content (H%) measurement

To determination of soil humidity, we used the weight moisture method. The samples were taken from five points and three horizons (0-10, 10-20, and 20-30 cm), giving a total of 15 samples in each plot.

The soil water content was calculated directly by weighing the soil before and after drying

((105°C/24h). The immediate weight corresponds to the total mass (Mt), and the mass after drying represents to the solid mass (Ms). The water content (W) was equal to:

$$W = \left( \frac{Mw}{Ms} \right) \times 100 = \left[ \frac{(Mt - Ms)}{Ms} \right] \times 100$$

With:

W: humidity level (%)

Mw: mass of water (g)

Ms: mass of the solid (g)

Mt: total soil mass (g)

Measurement of total soil Bulk density (P) expressed in % :

Soil Bulk density was determined as the ratio of bulk density and the actual density. It was calculated using the following equation:

Where:

$$n\% = 100 \times \left( 1 - \frac{\rho_{as}}{\rho_s} \right)$$

n%: soil Bulk density (%)

$\rho_{as}$  : Bulk density

$\rho_s$  : is the density of soil, estimated at 2.43 g/cm<sup>3</sup> (Feddal, 2015) ;

#### II.2.3 Penetration resistance Measurement

The Penetration resistance was measured using a manual penetrometer. The penetrometer measures the maximum resistance during the penetration at several depths. This device supports a maximum pressure of 08 MPa.

#### Root Density Measurement

Soil samples were taken from the plots using coring techniques with a metal cube of known volume (18000 cm<sup>3</sup>), 30 cm long, 30 cm wide, and 20 cm high. The cube was mechanically driven into the soil (0-20 cm) by its sharp end, then freed by digging around it. The roots were extracted from the soil samples using the water floating technique. After that, the roots were separated from the organic debris, and their weight was measured. The root density was calculated by dividing the weight (gr) by the volume of the cube. (18000 cm<sup>3</sup>).

#### II.2.4 Statistical analysis methods

To process the results, we used the XLSTAT software.

## III. Results and discussion

### III.1 Impact of the succession of farming tools on soil water content (H%)

The first moisture observations were mapped using grid sampling on the plots before and after tillage (Figure 1). The mapping clearly shows that the passage of tillage tools has a decreasing effect on soil water content in the three horizons (H1), (H2), (H3) (0-10-20-30 cm). This finding is valid for all three chains of tools. To dive our findings, statistical analysis, and histograms (Figure 2,3 and 4) were carried out using a chain-by-chain analysis on the three horizons (A, B, C):

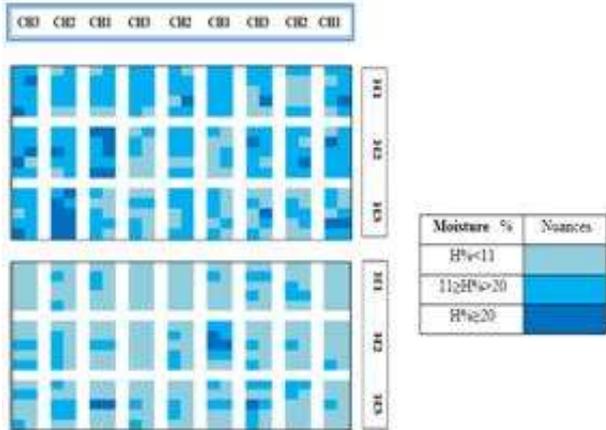


Figure 1. Mapping of soil water content variation in relation to depth (H1, H2, and H3) for the three techniques

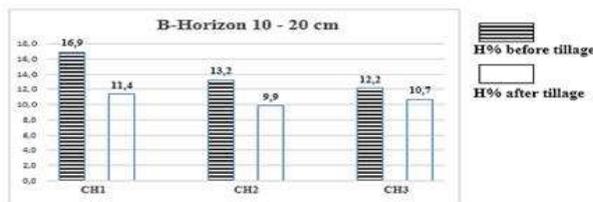


Figure 2. The variation of H% before and after tillage for the three tool chains for the horizon A.

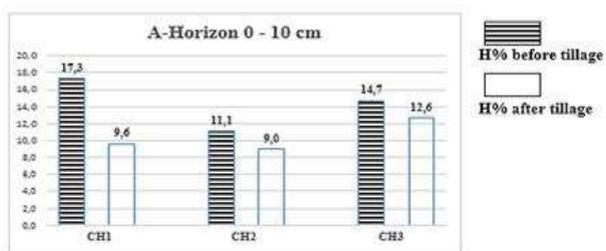


Figure 3. The variation of H% before and after tillage for the three tool chains for the horizon B.

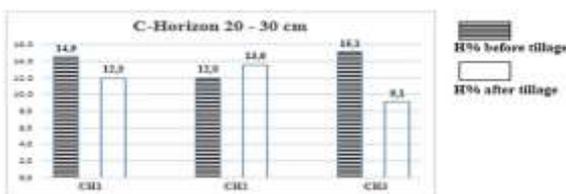


Figure 4. The variation of H% before and after tillage for the three tool chains for the horizon C.

Table 1. Statistical Analysis of the Effect of Cultivation Techniques on soil water content.

	CH1	CH2	CH3
<b>Depth 1</b>	p-value : <b>0,004</b> alpha 0,05→ <b>HS</b>	p-value :0,242 alpha 0,05→ <b>NS</b>	p-value :0,892 alpha 0,05→ <b>NS</b>
<b>Depth 2</b>	p-value : <b>0,006</b> alpha 0,05→ <b>HS</b>	p-value : <b>0,003</b> alpha 0,05→ <b>HS</b>	p-value : <b>0,027</b> alpha 0,05→ <b>HS</b>
<b>Depth 3</b>	p-value :0,38 alpha 0,05→ <b>NS</b>	p-value :0,24 alpha 0,05→ <b>NS</b>	p-value : <b>0,0001</b> alpha 0,05→ <b>HS</b>

HS : High significant, NS : non-significant

In a general way, we can conclude that the farming tools, whatever their application and passage, decrease soil water content on the first two horizons. Soil dryness can be explained by high evaporation resulting from the disturbance of the soil by the working parts of the tillage tools on the first 15 centimeters. On the other hand, on the third horizon, no moisture loss was registered for chains 2 and 3, where tillage affected only the first 15 cm. In contrast, the decrease in moisture was recorded at the level of plots plowed to 30 cm.

### III.2 Impact of the succession of tillage tools on the total Bulk density of the soil (n %)

The first analyses of the soil's total Bulk density, as for moisture, were based on grid mapping sampling on the plots before and after tillage (Figure 5).

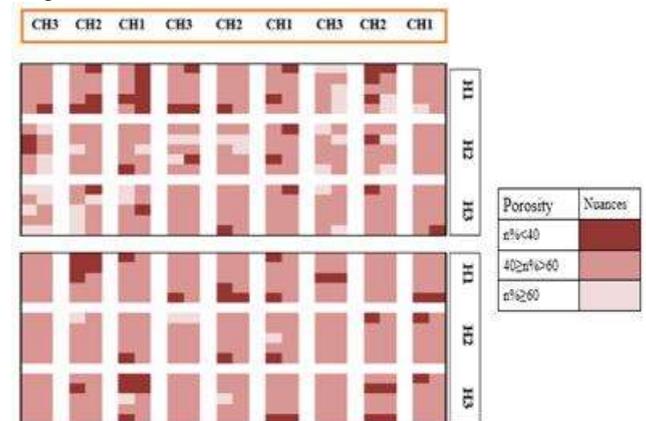


Figure 5. Mapping of soil Bulk density variation in relation to depth (H1, H2, and H3) for the three techniques.

The mapping illustrates that agricultural tools' passage had a diminishing effect on soil Bulk density on the three horizons. A more precise analysis of the Bulk density results is presented for the three tools chains on the three horizons (A, B, C):

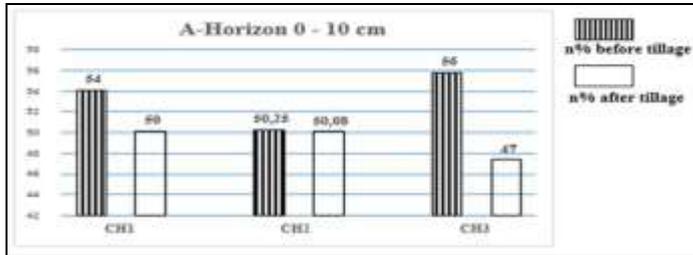


Figure 6. Variation of n% before and after tillage for the three tool chains for the horizon A

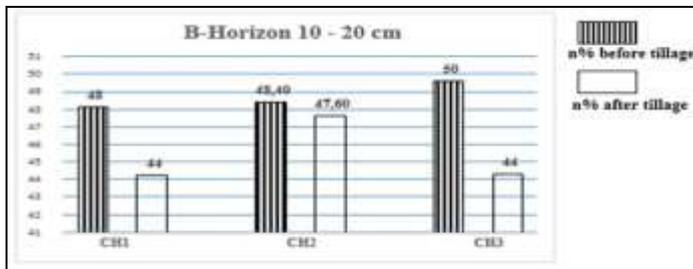


Figure 7. Variation of n% before and after tillage for the three tool chains for the horizon B.

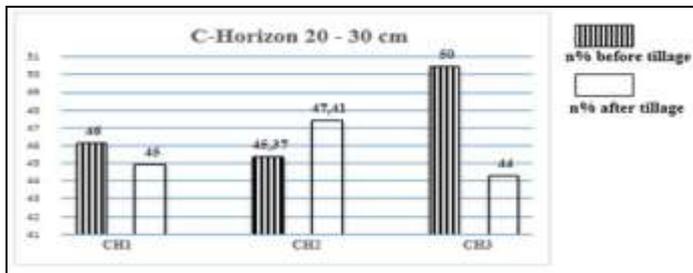


Figure 8. Variation of n% before and after tillage for the three tool chains for the horizon C.

Table 2. Statistical Analysis of the Effect of Cultivation Techniques on soil Bulk density.

	CH1	CH2	CH3
Depth 1	p-value : 0,493	p-value :0,876	p-value :0,0001
	alpha 0,05→NS	alpha 0,05→NS	alpha 0,05→HS
Depth 2	p-value :0,416	p-value :0,725	p-value :0,05
	alpha 0,05 →NS	alpha 0,05→NS	alpha 0,05→S
Depth 3	p-value :0,869	p-value :0,389	p-value :0,008
	alpha 0,05→NS	alpha 0,05→NS	alpha 0,05→HS

HS : High significant, S : significant, NS : non-significant

The results in the first horizon show that the successive passage of the offset disk and the vibrant shank cultivator reduced the Bulk density by 9%. In contrast, in deep conventional work, we registered only a reduction of 4%. On the other hand, CH2 with agronomic plowing seems to have the best Bulk density since it remained stable on this horizon with 50%.

In line with the first horizon, the second horizon seems to be more stable with the CH2 compared to CH1 and CH3, where we registered a decrease in Bulk density by 4 and 6%, respectively.

At the third horizon, the Bulk density was stable with CH1 (1% decrease), compared to CH3 with 6% of decreasing. On the other hand, CH2 increase Bulk density by 2%.

Statistical analysis showed a significant effect on total soil Bulk density only with CH3 on the first and second horizons.

### III.3 Impact of the succession of farming tools on the mechanical resistance of the soil

The Penetration resistance (Rp) is one of the indicators frequently used to provide insight into the state of soil compaction and the stress the soil places on root progression. We analyzed the evolution of the soil Penetration resistance concerning the depth of the three toolchains studied.

- **Horizon A (0 – 10 cm) :**

The figure below shows the effect of the passage of the different tillage tools of the three chains on the soil's Penetration resistance in the first horizon. We notice that CH2 allows the lowest Rp with a decrease of 0.6 MPa, followed by CH1 with 0.5 MPa and finally CH3 with 0.4 MPa.

- **Horizon B (10 – 20 cm) :**

At the level of the second horizon, the observation is quite the same as the first. The tools have a reducing effect on Rp; we have to mention that the deeper we go, the more Rp increases.

- **Horizon C (20 – 30 cm):**

The three tillage chains allow a reduction of Rp on the third horizon. The largest reduction was recorded with CH2 with a difference of 0.8 MPa, followed by CH3 and CH1 with 0.67 MPa and 0.33 MPa.

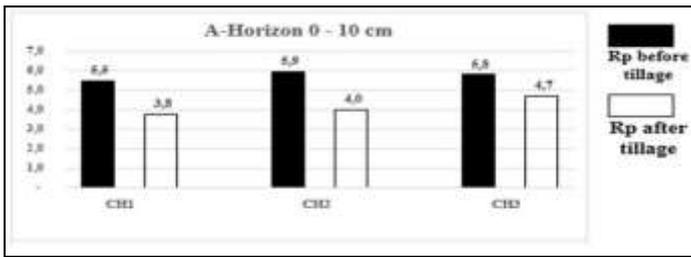


Figure 9. The variation of Rp (MPa) before and after tillage for the three tool chains for the horizon A

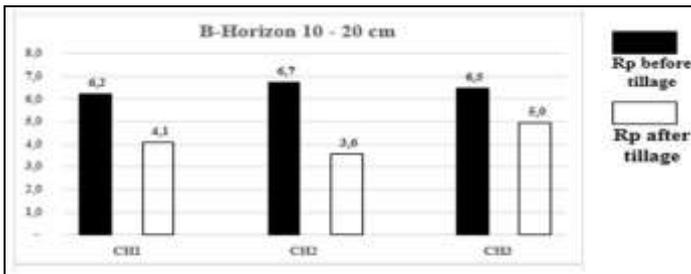


Figure 10. The variation of Rp (MPa) before and after tillage for the three tool chains for the horizon B.

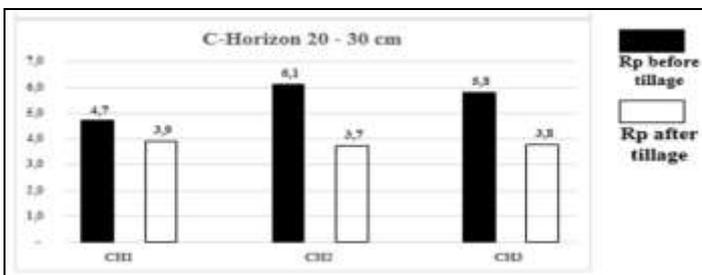


Figure 11. The variation of Rp (MPa) before and after tillage for the three tool chains for the horizon C.

The student test confirms that there is a highly significant effect of the three toolchains on Rp over the 20 - 30 cm horizon. However, it should be noted that CH2 has a greater effect on Rp than CH1 and CH3.

Table 3. Student test (Rp, horizon1, tool chain).

	CH1	CH2	CH3
p-value	0,028	0,001	0,022
Alpha	0,05	0,05	0,05
Interprétation	S	HS	S

Generally, the three chains of soil tillage implements, despite their differences, have a diminishing effect on soil Rp; chain 2 with agronomic ploughing allows the greatest reduction in Rp over the entire soil horizon.

It must be pointed out that Rp reaches its maximum values for the three chains at a depth of 20 cm, which can be linked to the history of the plot which has been ploughed for several years at the same depth, which induced a

ploughing sole, the values of Rp then decrease at the horizon 20 - 30 cm.

Multiple regression analysis between the dependent variable Rp and the independent variables H%, n% yielded the following model equation:

$$Rp_{CH1} = -3,19 - 0,15 * H\% (CH1) + 0,12 * n\% (CH1)$$

$$R^2=0,71 \quad P<0,05$$

The equation illustrates the relationship between Rp, n and H, where 71% of the variability in Rp ( $R^2 = 0.71$ ) could be explained by the moisture (H %) and Bulk density (n %). We notice that H% correlated negatively to Rp, contrary to n% where there is a significant positive correlation (especially if the soil is dry). Further, H% has slightly more effect than n% on Rp, with the coefficients 0.15 and 0.12, respectively.

The work of [8] can explain the increase of Rp in the function of n%. The author reported that for a matrix potential of 33 kPa, which corresponds approximately to the field capacity in sandy soil, the relationship between Bulk density and Rp is almost linear.

Furthermore, since the Bulk density is a volume measurement and the Rp is a precise measurement, the information provided by one or the other is sometimes quite different. Besides, sometimes it is possible to observe an increase in Rp with depth without noticing a remarkable difference in bulk density. This phenomenon generally explained by the increase in friction along the stem with depth [17]. Thus, occasionally the Rp values wrongly define the presence of a compact zone. Therefore, it is recommended to measure Rp together with other parameters such as H (%) and n (%).

For CH2 and CH3, the established regressions were not significant.

### III.4 Effect of Tillage on Durum Wheat Root Development

#### III.4.1 Root Density

Figure (12) shows the variation in root density for the three chains over the last physiological stages (head emerging, Flowering, and Maturity).

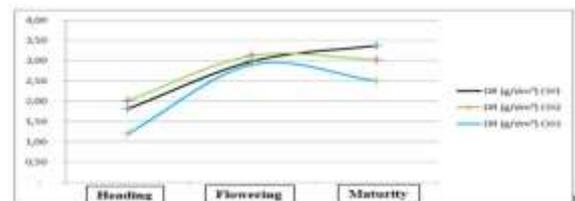


Figure 12. Variation in root density for the three chains during the last three stages of durum wheat development.

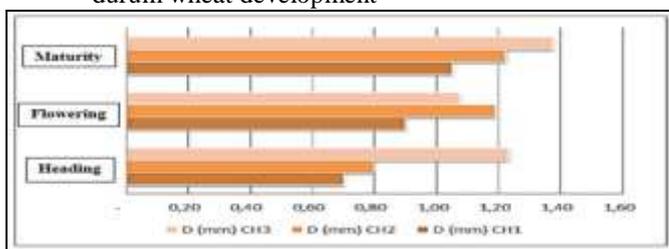
The results showed that the average root density is variable across both factors (physiological

stage and toolchain), and the values vary from 1.2 g/dm<sup>3</sup> and 3.37 g/dm<sup>3</sup>.

The root density increases from head emergence to flowering using all the three toolchains. The CH2 shows the highest root density during both stages. However, while the CH1 keeps increasing the root density until maturation to reach 3.37 g/dm<sup>3</sup>, the root density decreases slightly after flowering to achieve 3.02 g/dm<sup>3</sup> and 2.5 g/dm<sup>3</sup> with CH2 and CH3.

### III.4.2 Root diameter

Figure (13) shows the variation in root diameter for the three chains over the last three stages of durum wheat development



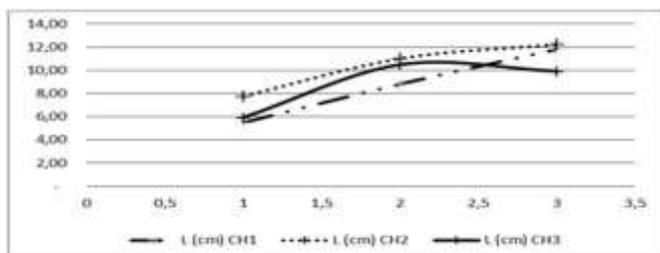
**Figure 13.** Variation in root diameter for the three chains during the last three stages of development of durum wheat.

The root diameter measured during the last three growth stages of wheat is significantly higher in plots worked without the share plow (CH3). The mean root diameter in CH3 was 1.38 mm, compared to 1.22 mm and 1.08mm for CH2 and CH1.

Reduced tillage such as CH3 does not favour proper root development at depth due to the superficial intervention of the tools. This finding confirms the results of Rp, where deep compaction was recorded, which may have caused a horizontal root development and not vertical.

### III.4.3 Root elongation

Figure (14) shows the variation in root elongation for the three chains over the last three stages of durum wheat development.



**Figure 14.** Variation in root elongation for the three chains over the last three stages of durum wheat development

The results show that the root length rate is faster with CH3, increasing from 5.9 cm at heading stage to 10.46 cm at flowering. However, the elongating stagnate in this value until the end of wheat development. The rapid root elongation using CH3 may be explained by the structure created at the surface layers that favors growth initiation. In contrast, at depth, the soil is not tilled, or the soil Rp is high, forcing the elongation to stops..

The deep plowing and agronomic plowing tillage with the share plough, keep the root length increase until maturity stage. The root length reaches the highest value of 12.23 cm with CH2 compared to 11.81 cm using CH1.

## IV. Conclusion

The passage of tillage tools had a decreasing effect on soil water content, Bulk density, and Penetration resistance on the three horizons (10-20-30 cm), using both CH1 and CH3. At the same time, CH2 allow conservation of water content in the third horizon (20 -30 cm), due to the undisturbed soil at depth and homogeneity of soil Bulk density over almost the entire profile. This result is encouraging insofar as there is currently high rainfall variability in northern Algeria, agronomic ploughing may offer a solution to soil drying.

The Bulk density results are directly related to the bulk density, which does not show a remarkable change during this experiment. However, the interpretation of results is delicate, it can be mistaken by other mechanisms including wetting, desiccation, and settling that's why it must be done carefully. The soil Bulk density is generally reduced in conservation tillage systems due to Non-ploughing which decreases macroBulk density formed by soil tilling. But, just like direct seeding systems, they favor the formation of biological macropores .These changes occur gradually, and differences between systems can be observed after several years of application.

Soil preparation with tillage promotes root development better than other techniques due to the creation of an excellent structure. Agronomic plowing allows good root elongation, while deep plowing provides a better root density. The minimum tillage (conservation tillage) provides the best root diameter but a low root elongation, which call into question the simplified cultivation techniques.

Today, under this study's experimental conditions, the technical itinerary of tillage with agronomic plowing can be an alternative to conventional plowing. This tillage method is easily feasible from a technical point of view and can generate economic gains compared to plowing, but its effects on the soil and crop yields need to be

studied in the longer term.

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

## V. References

1. Amara, M.; Boudhar, L.; Adli, N.; Feddal, M.A. 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. *Science et technique, Sciences appliquées et Technologies*. 2(2008). Burkina Faso. <http://revue.cnrst.bf/>
2. Amara, M. ; Feddal, A. ; Hamani, A. Analyse du comportement du sol sous l'action de trois techniques de mise en place d'un blé dur (*Triticum durum*) : Effet sur le développement des racines et conséquences sur le rendement. *Nature et Technologie* 12 (2015) 11 p. [https://www.univ-chlef.dz/revuenatec/issue-12/Revue-B/Art\\_322.pdf](https://www.univ-chlef.dz/revuenatec/issue-12/Revue-B/Art_322.pdf)
3. Arshad, M. A.; Franzluebbers, A. J.; and Azooz, R. H. Components of surface soil structure under conventional and no-tillage in northwestern Canada. *Soil and Tillage Research*, 53(1999) 41-47.
4. Baumhardt, R. L.; and Jones, O. R. Residue management and tillage effects on soilwater storage and grain yield of dryland wheat and sorghum for a clay loam in Texas. *Soil & Tillage Research* 68(2002) 71-82.
5. Bekkouche, O. Analyse de la résistance pénétrométrique du sol sous l'action de trois techniques du travail du sol. (2012) Thèse Ing. ENSA, El-harrach-ALGER.
6. Bhattacharyya, R.; Prakash, V.; Kundu, S.; and Gupta, H. S. Effect of tillage and crop rotations on pore size distribution and soil hydraulic conductivity in sandy clay loam soil of the Indian Himalayas. *Soil and Tillage Research*, 86(2006) 129-140.
7. Blanco-Canqui, H.; and Lal, E. Soil structure and organic carbon relationships following 10 years of wheat straw management in no-till. *Soil and Tillage Research* 95(2007) 240-254.
8. Breune, I. Le pénétromètre : un outil de détermination de la qualité structurale des sols. Thèse. Doctorat 1997. Faculté des études supérieures de l'université Laval. Laval. Canada. 88p. Annexes.
9. Dahai, Guan. Tillage practices effect on root distribution and water use efficiency of winter wheat under rain-fed condition in the North China Plain. *Soil and Tillage Research*. 146, Part B, March (2015) 286-295.
10. Ferrah, A. Effet de trois techniques culturales sur le développement de blé en zone semi-aride. Thèse Ing (2014). de l'université Mouhamed Boudiaf, M'sila.
11. Hamani, A. Effet de trois techniques de mise en place d'une culture sur le développement des racines et conséquences sur le rendement. *Thèse Ing* (2013). ENSA, El-harrach-ALGER.
12. Hammel, J. E. Long-term tillage and crop rotation effects on bulk density and soil impedance in Northern Idaho. *Soil Science Society of America Journal*, 53(1989), 1515-1519.
13. Kern, J.; and Johnson, M. Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. *Soil Science Society of America Journal* 57(1993): 200- 210.
14. Koller, K. Techniques of Soil Tillage, In A. El Titi, ed. *Soil Tillage in Agroecosystems*. CRC Press LLC, Boca Raton (2003) 1-25.
15. Labreuche, J. ; Viloingt, T. ; Caboutet, D. ; Daouze, J.P. ; Duval, R. ; Ganteil, A. ; Jouy, L. ; Quere, L. ; Boizard, H. ; et Rouger-Estrade. Evaluation des impacts environnementaux des techniques culturales sans labour (TCSL) en France (2007). Parite1 : la pratique des TCSL en France. ADEME.
16. Lal, R.; Reicosky, D.C.; et Hanson, J.D. Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. *Soil and Tillage Research* 93(2007) 1-12.
17. Soane, B.D.. Techniques for measuring changes in the packing state and cone resistance of soil after the passage of wheels and tracks. *Journal of Soil Science* 24(1973) 311-323.

### Please cite this Article as:

Echcherki S., Feddal M.A., Labad R., Yachi A.; Effects of various cultivation methods on clay loam soil properties and wheat root in Mediterranean climate., *Algerian J. Env. Sc. Technology*, 8:2 (2022) 2469-2476.



### **Conclusion générale**

Les travaux expérimentaux menés pour la réalisation de cette thèse, visent à enrichir les connaissances scientifiques et techniques sur le fonctionnement en climat semi-aride des techniques culturales simplifiées pour la mise en place des céréales (blé dur) et légumineuse ( la lentille).

L'objectif donc de cette thèse repose sur l'analyse des effets des différentes modalités de travail du sol sur le comportement physico-mécanique du sol ainsi que le comportement de deux cultures : le blé dur et la lentille. Ces effets sont illustrés par une analyse de la densité apparente, de porosité, du taux de saturation de cette dernière, d'humidité du sol, de résistances pénétrométrique, d'enracinement du blé dur ainsi que le paramètres de croissance du blé dur et du lentille.

La première partie de cette recherche concernait l'impact de la succession des outils aratoires sur la modification de la structure du sol, après une année d'application des traitements. Les résultats obtenus affirment que les outils aratoires par leur passage ont eu un effet diminutif sur l'humidité du sol, la porosité, et la résistance pénétrométrique sur les trois horizons (10-20-30 cm), ce constat est valable pour le travail conventionnel et le travail minimum du sol. Alors que le labour agronomique a permis une conservation de la teneur en eau dans le troisième horizon (20 -30 cm), du fait de la non perturbation du sol en profondeur, et une homogénéité de la porosité du sol sur presque tout le profil. Ce résultat est encourageant dans la mesure où il y a actuellement une grande variabilité pluviométrique qui touche les nord algérien, le labour agronomique peut présenter une solution au dessèchement des sols. D'autre part, Il faut rappeler aussi que ces résultats de la porosité, sont liés directement à la densité apparente qui ne présente pas un changement remarquable durant l'expérimentation. Il faut toutefois faire attention à l'interprétation des résultats car ils peuvent être bruités par d'autre mécanisme (humectation, dessiccation et tassement). Le non labour est caractérisé par une diminution de la macroporosité qui est, d'origine, créée par le labour. Donc, la porosité du sol est en général réduite dans les systèmes de conservation mais, tout comme les systèmes semis direct, ils favorisent la formation de macro-pores d'origine biologique. Ces changements s'opèrent progressivement et les différences entre les systèmes sont mesurables après plusieurs années de différenciation.

Le travail de sol avec labour favorise le développement des racines mieux que les autres techniques du fait de la bonne structure créée. Le labour agronomique semble offrir une structure permettant une bonne élongation racinaire alors que le labour profond offre une meilleure

## Conclusion générale

densité racinaire. Pour le labour agronomique, il semble offrir le meilleur diamètre des racines mais une mauvaise élongation racinaire, ce qui remet en question les techniques culturales simplifiées.

Aujourd'hui, dans les conditions expérimentales de cette première étude de la thèse réalisée dans la zone de la Mitidja, l'itinéraire technique de travail du sol avec labour agronomique peut être une alternative au labour classique. Ce mode de travail du sol est facilement réalisable d'un point de vue technique et peut générer des gains économiques par rapport à la pratique du labour, mais ses effets sur le sol et le rendement des cultures doivent être étudiés à plus long terme.

La deuxième partie de notre recherche concernait le suivi au cours des premières années d'application de différentes techniques de travail du sol (travail conventionnel, minimum, semis direct avec le nouveau semoir Boudour, ainsi que le semis direct utilisant le semoir australien John Shearer), les mesures de densité apparente, de porosité, d'humidité, de résistances pénétrométrique, et d'enracinement du blé dur et du lentille ainsi que leur rendement. Les résultats de cette partie confirment que :

- ❖ La TC conserve mieux l'humidité du sol, suivi du SD John Shearer ensuite SD Boudour, et enfin TCS. Ce constat est valable du premier au troisième stade sur les trois horizons 0 à 5 cm, 5 à 15 cm et 15 à 20, pour ce qui est du dernier horizon, SD John shearer conserve mieux l'humidité du sol. L'analyse statistique montre un effet hautement significatif de la technique x P3 sur H%, et un effet hautement significatif de technique x stade de développement du blé dur sur H% au 2ème, 3ème et 4ème stade.
- ❖ La porosité du sol est plus importante en surface (0-15 cm) quelle que soit la modalité considérée, et elle diminue en deçà, notamment dans les horizons qui ne sont plus fragmentés par les outils de travail du sol. Elle est inversement proportionnelle à la profondeur du sol. Les valeurs de la porosité du sol pour les 04 techniques, à quatre horizons ne dépassent pas la moyenne de 60%, ce qui est normal pour un sol agricole qui possède une porosité entre 30 et 60 %.
- ❖ Les quatre techniques présentent les mêmes tendances de Rp du premier au dernier stade et les valeurs sont très rapprochées entre SD Boudour et SD John Shearer. Cela est peut-être due à la reprise de masse du sol dans le temps après le semis. La résistance à la pénétration augmente avec la profondeur sous tous les systèmes de travail du sol. Des différences significatives de résistance à la pénétration entre les systèmes de travail du sol n'ont été

## *Conclusion générale*

obtenues en 2018 dans la zone d'étude. Aucune différence de résistance à la pénétration n'est apparue à moins de 05 cm ou à plus de 25 cm en raison des profondeurs de travail des outils utilisés dans les années précédentes. Les résultats obtenus de Rp dans les parcelles de la lentille ne montre pas d'effet significatif de la technique de travail du sol sur la résistance à la pénétration du sol. Rp est plus importante au niveau du travail minimum et semis direct. 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 et comprise entre 2 à 18 cm.

- ❖ La densité, le diamètre et l'elongation racinaire sont nettement supérieure dans les sols travaillés conventionnellement. elles sont variables d'une technique à une autre et d'un stade à un autre. Les analyses statistiques montrent qu'il y a un effet hautement significatif de la technique culturale sur les paramètres de croissance racinaire du blé dur avec une p-value  $< 0,001$  dans les deux stades étudiés avec un haut degré d'influence de la technique conventionnelle par rapport aux autres techniques.
- ❖ Les résultats présentés ont prouvé que le choix de la technique culturale avec le type de semoir, demeure une source non négligeable d'amélioration de la culture du blé dur et de la lentille, même en conditions semi-arides. Toutefois, les composantes de rendement, comme le PMG, et la longueur d'épi ne sont pas influencées par le choix de la technique culturale. Par contre, le nombre de grain par épi et le tallage semblent être très influencés par le choix de l'itinéraire technique. Pour le rendement estimé du blé dur, il est nettement supérieur dans les parcelles travaillées où on enregistre un rendement théorique atteignant en moyenne 42 qx/ha dans les sols travaillés avec la charrue à socs, contre une moyenne de 16 qx/ha pour SD John Shearer.
- ❖ Les résultats relatifs à la croissance de la lentille indiquent que le travail minimum du sol a permis d'obtenir le meilleur nombre de ramifications avec le travail conventionnel, le plus important nombre de nodules (actifs et inactifs), le nombre de gousses par plant le plus élevé, les tiges les plus hautes. Alors que le semis direct a permis un meilleur nombre de grains par gousse. Il faut toutefois signaler que les résultats de mesures des paramètres de croissance de la lentille sont très rapprochés entre les quatre techniques de travail du sol, dans ce contexte, nous avons obtenu la valeur moyenne la plus élevée du rendement estimé de la lentille  $97\text{g/m}^2$ , elle a été enregistrée au niveau des parcelles travaillées avec la charrue à soc, suivi du SD à disque (John Shearer) avec un rendement de  $89\text{g/m}^2$ , et  $82\text{g/m}^2$  obtenue

## **Conclusion générale**

par la technique culturale simplifiée, et enfin le plus faible rendement est de l'ordre de 76g/m<sup>2</sup> pour SD à dent (Boudour).

- ❖ Les résultats de cette thèse sont en accord avec les résultats de travaux de recherche antérieurs sur les effets positifs effet de la technique conventionnelle sur la porosité du sol et le développement des racines. De plus, le semis direct avec le semoir innovant « Boudour », qui est un semoir à dents, révèle certaines performances mécaniques sur le plan de:
  - Profondeur de semis
  - Distribution et couverture des semences
  - Rigidité et résistance au sol.

En pratique, il est recommandé de contrôler la profondeur de semis pour garantir la levée des cultures. En conséquence, le Semoir « Boudour » avec sa stabilité au sol et son rendement en termes de qualité, de prix et de force de traction semble avantageux pour les agriculteurs. En réalité, la mécanisation agricole en Algérie exige ce type d'innovation pour mieux maîtriser la conservation du sol, en particulier dans les zones arides et semi-arides où les sols se dégradent progressivement.

### **Perspectives et recommandations**

En guise de conclusion, nous pouvons dire que l'influence des différentes chaînes d'outil sur le rendement est fonction du traitement, que ce soit en sec, ou en pluvial. La réduction du travail du sol semble donc difficile à transposer aux cultures céréalières du fait de la concurrence accrue des adventices. Aujourd'hui, dans les conditions expérimentales de cette étude, l'itinéraire technique de travail du sol avec labour agronomique ou avec semoir Boudour paraît être une alternative au labour classique. Les résultats obtenus par ces deux techniques sont encourageants. Le semoir de semis direct à disque de la marque JOHN SHEREAR présente un seul avantage : absence de bourrage au niveau de son système d'enterrage, avec les disques.

Le manque de matériel adapté aux travaux du sol et de semis en sec, emmène la majorité des agriculteurs à attendre les pluies pour installer leurs cultures. A ce moment les propriétaires de tracteurs et de matériels agricole qui offrent des prestations de service aux agriculteurs, deviennent très demandés. Etant ainsi en position de force, ils se permettent d'effectuer des travaux du sol dans de très mauvaises conditions aboutissant à la fabrication de très mauvais lits de semences.

## Conclusion générale

La préparation du sol que ce soit en conventionnel où en minimum avant les semis est pratiquée par 95 % des agriculteurs algériens, l'objectif principal visé par cette dernière est l'affinement du lit de semence.

Les agriculteurs algériens ne disposent pas de références sur les profondeurs de semis optimales et sur les cycles des variétés qu'ils utilisent. Des séances de vulgarisation au profit des agriculteurs doivent être organisées dans ce sens.

Actuellement en Algérie, il existe deux types d'agriculteurs, des agriculteurs propriétaires de matériels performant (tracteur, outils aratoires, semoirs...), et des agriculteurs pratiquement non mécanisés, ces deux types ont des objectifs totalement divergents. Les premiers cherchent la rapidité dans le travail et le maximum de profit, les deuxièmes cherchent un bon travail du sol qui permet un lit de semences fin et par conséquent des taux de levée satisfaisants. De cet état de fait, il faut bien réfléchir la généralisation du semis direct en Algérie.

En conclusion, nous recommandons qu'il sera intéressant de compléter cette étude par d'autres essais, introduisant d'autres chaînes d'outil afin de sortir avec un guide technique complet répondant le maximum possible aux soucis des agriculteurs algériens.

*Malgré les efforts que nous avons fournis et les résultats que nous avons obtenus. L'étude du comportement des sols sous les différents systèmes de travail du sol nécessitent un suivi sur plusieurs années, pour que les résultats deviennent représentatifs, par l'étalement des campagnes de prospection sur plusieurs années afin de faire une analyse globale ainsi que de suivre de l'évolution de la structure du sol sous les différents systèmes.*

***REFERENCES***  
***BIBLIOGRAPHIQUES***



## Reference bibliographie :

### Reference bibliographie :

1. **Abbassenne F., Bouzerzour H., & Hachemi L. 1998.** Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride. *Ann. Agron. INA*, 18, 24-36.
2. **Abdellaoui Z., Fettih S., et Zaghouane O. 2006.** Etude comparative de l'effet du semis direct et du labour conventionnel sur le comportement d'une culture de blé dur en conditions pluviales. Dans :3<sup>ème</sup> rencontres méditerranéennes sur le semis direct, Saragosse Espagne ; 23-25 mars 2006.
3. **Abdellaoui Z., Tissekrat H., Belhadj A., et Zaghouane O. 2011.** Etude comparative de l'effet du travail conventionnel, semis direct et travail minimum sur le comportement du blé dur. Actes du 4<sup>ème</sup> rencontre méditerranéen du semis direct. Sétif, Algérie, du 3 à 5 mai 2010, pp : 68-82.
4. **Agenbag G.A., Maree P.C.J., 1991.** Effect of tillage on some soil properties, plant development and yield of spring wheat in stony soil. *Soil Till. Res.* 21, 97-112.
5. **Ait Abdallah D. 2011.** Culture et cout de production des grandes cultures. P 84. ISBN : 978- 9961-88-18-7.
6. **Ait-Abdallah-Djennadi F., Dekkiche N., Ghalem-Djender Z.,Oumdjekane K.2010.** Cultures et couts de production des grandes cultures. *Ed : ITGC, Alger.6p*
7. **Alam K., Monirul I., Nazmus S. and Mirza Hasanuzzaman. 2014.** Effect of tillage practices on soil properties and crop productivity in wheat-mungbean-rice cropping system under subtropical climatic conditions. *The Scientific World Journal*; Volume 2014, Article ID 437283, 15 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2014/437283>
8. **Alegre J.C., Cassel D.K., Amezquita E.1991.** Tillage systems and soil properties in Latin America. *Soil Tillage Res.*, 20, 147–163.
9. **Allaya M., Paradielles M.N., et Ferrier I. 2006.** Annuelle des économies agricoles et alimentaires des pays méditerranéens et arabes (bilingue : français /anglais). MADAGRI.2006.
10. **Alletto L.; Pot V.; Giuliano S.; Costes M.; Perdrieux F.; Justes E. 2015.** Temporal variation in soil physical properties improves the water dynamics modeling in a conventionally-tilled soil. *Geoderma*, 243, 18–28.

## Reference bibliographie :

11. **Amara M. 1983.** Influence des principaux paramètres constructifs de deux corps de charrue à versoir universel et cylindrique et la vitesse de travail sur les indices qualitatifs du labour. *Thèse. mag. agr.* ENSA. El-Harrach. Alger. Annexes.
12. **Amara M. 2007.** Contribution à la modélisation interface outils aratoires sol Optimisation de la forme et de l'effort de résistance à la traction des corps de charrues à socs et des outils à dents. Thèse. Doctorat. agr. ENSA. El harrach. Alger. Annexes.
13. **Amara M., Feddal M. A., Hamani A. 2014.** Analyse du comportement du sol sous l'action de trois techniques de mise en place d'un blé dur (*Triticum durum*). Effet sur le développement des racines et conséquences sur le rendement. *Revue « Nature & Technologie ». B- Sciences Agronomiques et Biologiques*, n° 12/ Janvier 2015, Pages 130 à 141.
14. **Angar H., Ben Haj Salah H. and Ben-Hammouda M., 2010.** Semis Direct et Semis Conventionnel en Tunisie : Les Résultats Agronomiques de 10 Ans de Comparaison. In: Actes des 4e Rencontres Méditerranéennes du Semis Direct, p. 9-13, ISSN. 1111-1992, SÈtif, Algeria, 3-5 May 2010.
15. **Arshad M.A., Franzluebbbers A.J., Azooz R.H. 1999.** Components of surface soil structure under conventional and no-tillage in northwestern Canada. *Soil Till. Res.* 53, 41-47.
16. **Asseng S., Turner N.C., Botwright T., Condon A.G. 2003:** Evaluating the impact of a trait for increased specific leaf area on wheat yields using a crop simulation model. *Agronomy Journal*, n°95, pp. 10-19.
17. **Bedrani S., 2001,** Les contraintes au développement des zones steppiques et la mise en valeur par les concessions, Ministère de l'agriculture. Alger
18. **Bakken L., Njo S. 1987.** Effect of soil compaction by tractor traffic on soil structure, denitrification, and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Soil Science* 38: 541-552. In Destain M.-F., 2013. La compaction des sols agricoles en Wallonie. Guide de bonnes pratiques pour éviter la compaction des sols agricoles wallons. UNIVERSITE DE LIEGE (Gembloux Agro-Bio Tech).54p.
19. **Barthélémy P., Boisgontier D et Lajoux P. 1987.** Choisir les outils de travail du sol. Ed ITCF.france.1987.
20. **Barthelemy P., Boisgontier D et Lajoux P., 1992.** Choisir les outils de semis. Ed ITCF.france. 1992.

## Reference bibliographie :

21. **Basic F., Kistic I., Mesic M., Nestroy O. & Butorac A. 2004.** Tillage and crop
22. **Baumhardt R. L. and Jones O. R. 2002.** Residue management and tillage effects on soilwater storage and grain yield of dryland wheat and sorghum for a clay loam in Texas. *Soil & Tillage Research*, 68, 71-82.
23. **Bedoussac L., Journet E.P., Rouet P., Josse C., Ledoux S., Justes E. 2011.** Cultiver le blé (dur ou tendre) en association avec une légumineuse à graine : un moyen efficace pour accroître la production et la qualité des graines en agriculture biologique.
24. **Bedrani S. 2004.** L'alimentation de rue en Algérie : quelques réflexions sur la base d'une enquête visuelle rapide. Alger. *Options Méditerranéennes*, (36) : 25-46.
25. **Belaid D., 2015.** Premier Séminaire International sur : Systèmes de Production en Zones Semi-arides. Diversité Agronomique et Systèmes de Cultures. M'sila, 04 et 05 Novembre 2015. *Revue Agriculture. Numéro spécial 1* (2016) 146 – 151.
26. **Bencharif A., Rastoin J.L. 2007.** Concept et méthodes de l'analyse de filières agroalimentaires : application par chaîne globale de valeur au cas des blés en Algérie .working paper N° 7/2007, UMR MOISA, Montpellier.
27. **Benhalima L., Amri S., Bensouilah M., Ouzrout R.** Antibacterial effect of copper sulfate against multi-drug resistant nosocomial pathogens isolated from clinical samples Pakistan *Journal of Medical Sciences*, 2019
28. **Bennie A.T. P. 1991** - Growth and mechanical impedance. p.393-414 dans Y.Waisel, A Eshel et U. Kafkafi, ed. *Plant Roots The Hidden Half*
29. **Bennie A. T.P. and Krynauw G. N. 1985.** Causes, adverse effects and control of soil compaction, *South African Journal of Plant and Soil*, 2:3, 109-114, DOI: 10.1080/02571862.1985.10634148
30. **Benniou R. 2008.** Les systèmes de production dans les milieux semi-arides en algérie : analyse agronomique de leur diversité et des systèmes de culture céréalières dans les hautes plaines sétifiennes. *Thèse de doctorat*, INA-Alger ; 293 p.
31. **Bentaher D., Amara M., Bakal M. 2018.** Analyse du comportement du sorgho fourrager hybride sudan\*sorgho sous l'action de quatre techniques ; *Fourrages*, 236, 249-253.
32. **Bentahar S., Dbik A., El Khomri M., El Messaoudi N., Lacherai A. 2018.** Removal of a cationic dye from aqueous solution by natural clay, *Groundwater for Sustainable Development*, 6, 255-262, ISSN 2352-801X, doi.org/10.1016/j.gsd.2018.02.002.

## Reference bibliographie :

33. **BENTAYEB M., MOHHAMED Z. 2019.** Étude comparative de l'effet des systèmes de culture sur le comportement du blé dur dans les zones semi-arides de l'Algérie cas de la wilaya de Sétif ;these ing.ensa.
34. **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.
35. **Betencourt E., Duputel M., Colomb B., Desclaux D., Hinsinger P. 2012.** Intercropping promotes the ability of durum wheat and chickpea to increase rhizosphere phosphorus availability in a low P soil. *Soil Biol Biochem* 46 : 21-33.
36. **Bhattacharyya R., Prakash V., Kundu S. and Gupta H. S. 2006.** Effect of tillage and crop rotations on pore size distribution and soil hydraulic conductivity in sandy clay loam soil of the Indian Himalayas. *Soil & Tillage Research*, 86, 129-140.
37. **Blanco-Canqui H., Gantzer C. J., Anderson S. H. and Alberts E. E. 2004.** Tillage and crop influences on physical properties for an Epiaqualf. *Soil Science Society of America Journal*, 68, 567-576.
38. **Blanco-Canqui H., Ruis S., and Speth C., and Lee D. 2018.** Teaching Undergraduate Soil Management to Diverse Majors: Linking Lectures with Field Practicals. *Natural Sciences Education*. 47. 10.4195/nse2018.09.0017.
39. **Blevins R.L., Smith M.S., Thomas G.W., Frye W.W., 1983.** Influence of conservation tillage on soil properties. *J. Soil and Water Cons.* May-June, 301-304.
40. **Blevins R.L., Frye W.W., 1993.** Conservation tillage: an ecological approach to soil management. *Adv. Agron.* 51, 33-78.
41. **Boiffin J., Malezieux E. & Picard D. 2001.** Cropping systems for the future. In Nösberger, J., Geiger, H. H., Struik, P. C. (eds.), *Crop CABI Publishing, Oxon (UK)*, pp. 261-280.
42. **Boudiar R., 2013.** Etude Comparative Des Effets De Travail Du Sol Conventionnel Et Le Semis Direct Sur L'évolution Du Sol En Région Semi-aride. *Thèse Magister en science agronomiques*, uuniversité Ferhat Abbas Sétif 1Faculté des Sciences de la Nature et de la vie, 104 p
43. **Boudjenouia A., Fleury A., Tachirift A. 2008.**L'agriculture périurbaine à Sétif (Algerie): quel avenir face à la croissance urbaine. *biotechnolo.agron .soc.enviro.*200812(1),23-30.

## Reference bibliographie :

44. **Boulal H., Zaghouane O., El Mourid M.R.S. 2007** – guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blé et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie).Ed. ITGC - Alger, 2007, 176p.
45. **Bouzerzour H. et Benmahammed A. 1994.** Environmental factors limiting bareley grain yield in the high plateaux of eastern Algeria. *Rachis*, 12 : 11-14.
46. **Bouzerzour H., Irekti H., Vadon B. 2011.** Rencontres Méditerranéennes du Semis Direct. Zaragoza : CIHEAM / ATU-PAM / INRAA / ITGC / FERT, p. 71 -87 (Options Méditerranéennes : Série A. Article Séminaires Méditerranéennes ; n. 96)
47. **Boyardieu. 1982.** Blé tendre. Techniques agricoles. Rome.
48. **Bradford J.M. 1986.** Penetrability. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of soil analysis*, Part 1. Physical and mineralogical methods-Agronomy monograph N° 9 (2<sup>nd</sup> edition), ASA-SSSA, Madison, USA, pp. 463-478.
49. **Bradford J. M. et Huang C. 1994.** Interill soil erosion as affected by tillage and residue cover. *Soil Tillage Res.* 31: 353\_361.
50. **Ball B., Bingham I. 2003.** Minimum tillage. Technical Note.
51. **Burch G.J., Mason I.B., Fischer R.A., Moore I.D. 1986.** Tillage effects on soils: physical and hydraulic responses to direct drilling at Lockart, N.S.W. *Aust. J. Soil Res.* 24, 377- 391.
52. **Busscher W.J., Bauer P.J., Camp C.R., Sojka R.E. 1997.** Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. *Soil Till. Res.* 43, 205-217.
53. **Cadi A. ; Dellig A. ; Sarfatti P. ; Chiar T. ; Bellah F.et Bazzani F., 2000-** SIG et zonage agroécologique : Application au Nord algérien. *Rév. Céréaliculture n°34ITGC* :68-75.
54. **Cadi A., 2005.** Caractérisation des zones céréalières potentielles à travers le Nord de l'Algérie. *Rév. ITGC. Céréaliculture n° 44. : 36-39.*
55. **Callot. 1988.** Mieux comprendre les interactions sol-racines. Ed INRA.FRANCE. 325p.
56. **Campbell D.J., Henshall J.K. 1991.** Bulk density. In: Smith, K.A. and Mullins, C.E. (Eds.), *Soil analysis. Physical methods.* Marcel Dekker, New York, USA, pp. 329-366.
57. **Campbell D.J., O'Sullivan M.F. 1991.** The cone penetrometer in relation to trafficability, compaction, and tillage. In: Smith, K.A. and Mullins, C.E.

## Reference bibliographie :

- (Eds.), *Soil analysis. Physical methods*. Marcel Dekker, New York, USA, pp. 399-430.
58. **Campos-Magaña S.G., Cadena-Zapata M., Ramírez-Fuentes, G., Pacheco-López J.L., Reynolds-Chavez M.A., Valezuela-Garcia J.R.** An experimental determination of the specific soil resistance of a sandy loam soil using vertical soil tillage in the Northeast of Mexico. *Agric. Mech. Asia Afr. Lat. Am.* 2015, 46, 53–57.
59. **Carter M.R., Ball B.C. 1993.** Soil porosity. In: Carter, M.R. (Ed.), *Soil sampling methods of soil analysis*. Lewis Publishers, pp. 581-588.
60. **Cassel D.K. 1982.** Tillage effects on soil bulk density and mechanical impedance. In: Unger, P.W. and Van Doren, D.M. (Eds.), *Predicting tillage effects on soil physical properties and processes*. ASA-SSSA, Madison, USA, pp. 45-67.
61. **Cedra C. 1993.** Les matériels de travail du sol, semis et plantation, Ed Tec, Doc. Volume III : pp : 384.
62. **Chen Y., Tessier S., Rouffignat J., 1998.** Soil bulk density estimation for tillage systems and soil textures. *Trans. ASAE.* 41, 1601-1610.
63. **Chervet A., Ramseier L., Sturny W. G. and Tschannen S. 2005.** Comparaison du semis direct et du labour pendant 10 ans. *Revue suisse Agric.* 37 (6), 249-256.
64. **Choudhary R.N., Pradesh S.K., Singh P.K., Upadhyay R.K., Singh H.R., Choudhary, Vijay Pal. 2014.**Effect of Vegetable Intercrops and Planting Pattern of Maize on Growth, Yield and Economics of Winter Maize (*Zea mays L.*) in *Eastern Uttar Environment & Ecology* 32 (1) : 101—105, January—March
65. **Choudhury S. G., Sivastava S., Singh R., Chaudhari S.K., Sharma D.K., Singh S.K., Sarkar D. 2014.**Corrigendum to “Tillage and residue management effects on soil aggregation, organic carbon dynamics and yield attribute in rice–wheat cropping system under reclaimed sodic soil», *Soil Till. Res.* 136 76–83.
66. **Clement. 1970 :** les céréales, edit J bailliere et fils. P351.
67. **Coquet Y., Vachier P. and Labat C. 2005.** Vertical variation of near-saturated hydraulic conductivity in three soil profiles. *Geoderma*, 126, 181-191.
68. **Crovetto C.C. 1998.** No-till development in Chequén farm and its influence on some physical, chemical and biological parameters. *J. Soil and Water Cons.* 53, 194-199.

## Reference bibliographie :

69. **Dahai G., 2014** – Soil and Tillage Research. Volume 146, Part B, March 2014, Pages 286–295.
70. **Dam R.F., Mehdi B.B., Burgess M.S.E., Madramootoo C.A., Mehuys G.R. and Callum I.R. 2005.** Soil bulk density and crop yield under eleven consecutive years of corn with different tillage and residue practices in a sandy loam soil in central Canada. *Soil Tillage Res.* 84, 41–53.
71. **Dangolani S. K., and Narob M. C. 2013.** The effect of four types of tillage operations on soil moisture and morphology and performance of three varieties of cotton PhD Student, Tajik Agrarian University. *European Journal of Experimental Biology*, 3(1), 694–698.
72. **Dao T.H. 1993.** Tillage and winter wheat residue management effects on water infiltration and storage. *Soil Science Society of America Journal*, **57**, 1586-1595.
73. **Diehl R., 1995.** Agriculture générale 2eme édition, Béliers. Paris pp 362-364. Différentes techniques de travail de la jachère sur les caractéristiques structurales et direct sur laproduction céréalière en milieu semi-aride. Cas de la région de Béni- Foua – diversité génétique et amélioration variétale. Les colloquet, n° 64, Montpellier. Ed. INRA, Paris 1993.
74. **Djermoun A. 2009.** La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. *Revue Nature et Technologie*, 01 ; 45 : 53
75. **Dommergues C. 1993.** un centre sidérurgique romi de la montagne noire. le domaine des forges (les marries)paris,CNRS Editions, 447.
76. **Dommergues Y., Duhoux E., Diem H.G. 1999.** Les arbres fixateurs d’azote, (Ed) CIRAD, ESPACE, FAO, IRD ; Montpellier, Rome, Paris,499p.
77. **Doorenbos J et Pruitt W.O. 1975.** Crop Water Requirements, FAO, Rome 179 p
78. **Doorenbos J., Kassam A. 1979.** Yield response to water. Irrigation and Drainage Paper n° 33.FAO, Rome. 193 p
79. **Duiker S.W. et Lal R. 1999.** Crop residue and tillage effects on carbon sequestration in a Luvisol in Central Ohio. *Soil Tillage Res.* 52: 73\_81.
80. **Echcherki S. 2016** - Effet des trois techniques culturales sur l’état physique du sol : conséquence sur le développement du blé dur. Thèse. Mag. Agr. ENSA. El harrach. Alger. Annexes.

## Reference bibliographie :

81. **Echcherki S., Feddal M.A., Labad R., Yachi A.** 2022. Effects of various cultivation methods on clay loam soil proprieties and wheat root in Mediterranean climate., *Algerian J. Env. Sc. Technology*, 8:2, 2469-2476.
82. **Edwards W.M.** 1996. Soil structure: processes and management. In: Lal, R. and Pierce, F.J. (Eds.), *Soil management for sustainability. Soil and Water Conservation Society*. Ankeny, USA, pp. 7-14.
83. **Ehlers W., Köpke U., Hesse F., Böhm W.,** 1983. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. *Soil Till. Res.* 3,261-275.
84. **Eliard J.L.** 1974. Manuel d'agriculture générale. Bases de la production végétale. Ed. Baillière, Paris, 344 p.
85. **Ellis F.B., and Barnes B.T.** 1980. Growth and development of root systems of winter cereals grown after different tillage methods including direct drilling. *plant soil* 55:283-295.
86. **Erskine W., Adham Y. Et Holly L.** 1989. Geographic distribution of variation in quantitative traits in a world lentil collection, *Euphytica* 43: 97-103.
87. **Fayle D. & Scott P.** 1995. Woody root system development of white spruce layerings in a tundra environment. *Ecoscience*. 2. 408-414. 10.1080/11956860.1995.11682309.
88. **Fao.** 1997. Production. Ann., Vol. 51, 239 p.
89. **Food and agriculture organization. Rome.AO.** 2007 Faostat Site des données statistiques de la FAO : [www.faostat.fao.org](http://www.faostat.fao.org)
90. **faostat-agriculture** 2011. Food and agricultural commodities production. Production: crops:2011.
91. **Faostat.** 2017. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Production: crops: 2016, Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#country/4>. Accessed 10 Mars 2017.
92. Faostat 2022: Food and Agriculture Organization of the United Nations (Database Rome Italy. FAO Available at: <http://faostat.fao.org/database>
93. **FEDDAL M. A.** 2011 Analyse du comportement du sol sous l'action de deux techniques de mise en place d'une culture de (*Triticum durum*).
94. **Feddal M.A.** 2008. Analyse du comportement physico-mécanique du sol sous l'action des différentes pièces travaillantes des outils aratoires d'une chaîne. Thèse. Ing. Agr. ENSA. El-Harrach, Alger.

## Reference bibliographie :

95. **Feddal M.A. 2015.** Problématique de l'introduction des techniques culturales simplifiées pour la mise en place des grandes cultures en Algérie. Thèse de doctorat. ENSA. EL-Harrach, 296p.
96. **Feliachi K. 2000.** Programme de développement de la céréaliculture en Algérie. Dans : Acte du premier symposium international sur la filière blé 2000. Enjeux et stratégies, Alger (Algérie). Pp. 21-27.
97. **Fellahi Z., Hannachi A., Chennafi H., Makhoul M. and Bouzerzour H. ,2013.** Effets des résidus et du travail du sol sur la production de la biomasse et le rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf., variété MBB) en lien avec l'utilisation de l'eau dans les conditions semi-arides des Hautes Plaines Sétifiennes *Revue agriculture*.
98. **Feng Z., Xiquan D., Baike X., Courtney S., Minnis P., Khaiyer M. 2015.** Feng et al 2011 JD016451.
99. **Fernandez-Ugalde O., Virto I., Bescansa P., Imaz M.J., Enrique A., Karlen D.L. 2009.** No-tillage improvement of soil physical quality in calcareous degradation-prone semiarid soils. *Soil Tillage Res.*, 106, 29–35.
100. **Ferreras L. A., Costa J. L., Garcia F. O. and Pecorari, C. 2000.** Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern "Pampa" of Argentina. *Soil & Tillage Research*, 54, 31-39.
101. **Ferreras L.A., Costa J.L., Garcia F.O., Pecorari C. 2000.** Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern "Pampa" of Argentina. *Soil Till. Res.* 54, 31-39.
102. **Findeling A. Ruy S. et Scopel, E. 2003.** Modeling the effects of a partial residue mulch on runoff using a physically based approach. *J. Hydrol.* 275:49\_66.
103. **Fischer R., and Maurer R. 1978.** Drought Resistance in Spring Wheat Cultivars. I. Grain Yield Responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29, 897-912.  
<http://dx.doi.org/10.1071/AR9780897>
104. **Franzen H., Lal R., Ehlers W. 1994.** Tillage and mulching effects on physical properties of a tropical Alfisol. *Soil Till. Res.* 28, 329-346.
105. **Franzluebbers A.J., Hons F.M., Zuberer D.A. 1995.** Tillage and crop effects on seasonal dynamics of soil CO<sub>2</sub> evolution, water content, temperature, and bulk density. *Applied Soil Ecology.* 2, 95-109.
106. **Fuentes J. P., Flury M. and Bezdicek D. F. 2004.** Hydraulic properties in a silt loam

## Reference bibliographie :

- soil under natural prairie, conventional till, and no-till. *Soil Science Society of America Journal*, 68, 1679-1688.
107. **Gao W, Dennis G., Sherman B. T., Hosack D. A., Yang J., Lane H. C., and Lempicki R. A. 2003.** DAVID: database for annotation, visualization, and integrated discovery. *Genome biology*, 4(9), 1-11.
108. **Gate P. 1997.** Ecophysiologie du blé, préface de Tony Fischer, 103p.
109. **Ginigaddara, S., Ranamukhaarachchi S. 2009.** Effect of conventional, SRI and modified water management on growth, yield and water productivity of direct-seeded and transplanted rice in central Thailand. *Australian Journal of Crop Science*.
110. **Girard M.C., Walter C., Rémy J.C., Berthelin J. et Morel, J.L. 2005.** Sols et Environnement, *Eds., Dunod, Paris, 816 p.*
111. **Gozubuyuk Z., Sahin U. Ozturk I., Celik A., Adiguzel M.C. 2014.** Tillage effects on certain physical and hydraulic properties of a loamy soil under a crop rotation in a semi-arid region with a cool climate. *Catena*, 118, 195–205.
112. **Grant C.A., Lafond G.P. 1993.** The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clay soil in southern Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.* 73, 223-232.
113. **Guedira M., McCluskey P.J., MacRitchie F. et Paulsen GM. 2002.** Composition et qualité du blé cultivés dans des pousses et des racines différentes Les températures au cours de la maturation. *Cereal Chemistry*. 79 : 397-403.
114. **Guerif J. 1994.** Influence de la simplification du travail du sol sur l'état structural des horizons de surface : conséquences sur leurs propriétés physiques et leurs comportements mécaniques. Simplification du travail du sol. INRA. Paris, (Les Colloques, n°65), 13-33. In **Bellemou A., 2012.** Etude des résultats d'essais de différentes techniques de semis de blé dur. Thèse de magister, l'ENSA, Alger, 152p.
115. **Hakansson and Voorhees, 1998.** Soil compaction. In: Lal, R., Blum, W.H., Valentine, C., Stewart, B.A. (Eds.), *Methods for Assessment of Soil Degradation. CRC Press, Boca Raton, FL*, pp. 167–179.
116. **Hamblin A.P. 1985.** The influence of soil structure on water movement, crop root growth, and water uptake. *Adv. Agron.* 38, 95-158
117. **Hammel J.E. 1989.** Long-term tillage and crop rotation effects on bulk density and soil impedance in northern Idaho. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53, 1515-1519.
118. **He J. H. 2006.** Some asymptotic methods for strongly nonlinear equations.

## Reference bibliographie :

- International journal of Modern physics B, 20(10), 1141-1199
119. **Hernanz, J.L., Arrúe, J.L, Cantero, C. (Eds). 1998.** Creación de una red temática sobrelaboreo de conservación. Informe final, Acción Especial CICYT, AGF96-1613-E, ETSIA, UPM, Madrid, 180p.
120. **Hill R.L., Cruse M. 1985.** Tillage Effects on Soil Water Retention and Pore Size Distribution of Two Malisons. *Soil Science Society of America Journal*;49, 5 p. 1264-1270.
121. **Hill R.L. 1990.** Long-term conventional and no-tillage effects on selected soil physical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54, 161-166.
122. **Holstener-Jorgensen H. 1982.** Fertilization experiments in stands of *Abies nordmanniana* used for greenery production (in Danish). *Forstl. Forsøgsvæ. Dan.* 38:221-237.
123. **Houot S., Mordelet P., Tardieu F., Molina J. 1990.** Effet du tassement du sol sur la biomasse microbienne et la libération d'azote. Symp. INRA-Paris Grignon, France, PP :201-207.
124. **Huang M., Liang T., Wang L. and Zhou C. 2015** Effects of no-tillage systems on soil physical properties and carbon sequestration under long-term wheat–maize double cropping system. *Catena*, 128, 195–202.
125. **Hubbard R.K., Hargrove W.L., Lowrance R.R., Williams R.G., Mullinix, B.G. 1994.** Physical properties of a clayey coastal plain soil as affected by tillage. *J. Soil and Water Cons.* 49, 276-283.
126. **Huwe B. 2003:** The rôle of soil tillage for soil structure, In A. El Titi, ed. *Soil Tillage in Agroecosystems. CRC Press LLC, Boca Raton.* p. 27-50.
127. **ITGC. 2014 :** Rapport annuel du projet de coopération portant sur l'adaptation de l'agriculture de conservation en vue d'une adoption rapide par les agriculteurs en Afrique du Nord. Campagne agricole 2013/2014.
128. **Jaillard B. et Luc J.P. 1979.** Comparaison de la dynamique de l'eau entre trois parcelles à enracinement différents. *Bull. G.F.H.N.* 73-98.
129. **Jarrigue F. 2009.** Histoire de la famille Jarrigue. Bibliographie personnelle. 86p
130. **Jayasundara H.P.S., Thomson B.D. et Tang C. 1998.** Responses of cool season grain legumes to soil abiotic stresses. *Advances in Agronomy* 63, 77–153.
131. **Kay B.D., et Vanden Bygaart A.J. 2002 -** Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil and Tillage Research* 66:107118.

## Reference bibliographie :

132. **Kay BD., Vandenbygaart, B. 2002.** Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil and Tillage Research*. 66. 107-118. 10.1016/S0167-1987(02)00019-3.
133. **Kelkoui M. 2008** - Etude de l'effet de différentes techniques culturales utilisées en grandes cultures sur la rétention du sol en eau dans les conditions du semi-aride, région du Haut Cheliff, cas du blé. Thèse. Mag. Agr. ENSA. El Harrach. Alger. Annexes.
134. **Khaledian, M.R., Ruelle P., Mailhol J.C., Delage L., Rosique P., 2006.** Evaluating direct
135. **Kheyar M.O., 1986** - Contribution à l'étude comparative tracteur à roues, tracteur à chenilles : influence sur le tassement du sol. Thèse de magister d'état en sciences agronomiques. Institut national agronomique. El Harrach. Alger.
136. **Kinsella, J., 1995.** The effects of various tillage systems on soil compaction. In: Soil and Water Conservation Society (Ed.), Farming for a better environment. Ankeny, pp. 15-17.
137. **Klepper, B., 1990.** Root growth and water uptake. In: Stewart, B.A. and Nielsen, D.R. (Eds.), Irrigation of agricultural crops. ASA-CSSA-SSSA, Madison, USA, pp. 281-322.
138. **Kováč, K. & Macak, Milan & Švancárková, M.. (2005).** The effect of soil conservation tillage on soil moisture dynamics under single cropping and crop rotation. *Plant, Soil and Environment*. 51. 124-130. 10.17221/3564-PSE.
139. **Kramer, R. M., & Tyler, T. R. (Eds.). (1996).** Trust in organizations: Frontiers of theory and research. Sage Publications, Inc
140. **Kreutzer, T., et Egeland, B. (1991).** A longitudinal study of the effects of maternal stress and protective factors on the development of high-risk children. In E. M. Cummings, A. L. Greene, & K. H. Karraker (Eds.), *Life-span developmental psychology: Perspectives on stress and coping* (pp. 61–83). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
141. **Kuzucua, M.; Dökmenb, F. 2015.** The effects of tillage on soil water content in dry areas. *Agric. Agric. Sci. Procedia* 4, 126–132.
142. **Labad R., Louahdi N., Zouaoui S., Harrad F., Mohammedi Z., Feddal M. 2021.** Analysis of the mechanical performance of no-till seed drills in Algeria: Impact on crop yield. *Algerian J. Env. Sc. Technology*, X:X (YYYY) XX-XX

## Reference bibliographie :

143. **Labreuche J., Maumene C., Couleaud G., Seguin B. 2007** - Tirer parti des rotations pour éviter les maladies du blé- *Perspectives agricoles* 288. 58-61.
144. **Lal R. 1983** - No-till farming: soil and water conservation and management in the humid and subhumid tropics. IITA Monograph 2, Ibadan, Nigeria. 64 p.
145. **Lal R., Mokma D. et Lowery B. 1999**. Relation between soil quality and erosion. Pages 237\_258 dans R. Lal, ed. Soil quality and soil erosion. *CRC Press*, New York, NY.
146. **Lampurlanés J. and Cantero-Martínez C. 2003**. Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop management systems and their relationship with barley root growth. *Agronomy Journal*, 95, 526-536.
147. **Lampurlanés Castel J., Cantero-Martínez, C. 2006**. Hydraulic conductivity, residue cover and soil surface roughness under different tillage systems in semiarid conditions. *Soil and Tillage Research*. 85. 13-26. 10.1016/j.still.2004.11.006.
148. **Larousse agricole 2002 :**  
<https://www.worldcat.org/title/larousseagricole/oclc/77097500> Angar et al., 2010
149. **Leibundgut B., Kirshner R., Phillips M., Wells L., Sontzeff N., Hamuy M., Schommer R., Walker A., Gonzalez L., Ugarte P., Williams R., Williger G., Gomez M., Marzke R., Schmidt B., Whitney B., Coldwell N., peters j., Chaffee F., Sonneborn G. 1993**. SN 1991bg - A type IA supernova with a difference. *The Astronomical Journal*. 105. 301. 10.1086/116427.
150. **Levesque D. 1994**. Source Plein Soleil, diététiste en collaboration avec Lysanne Trodeau diététiste à la fondation des maladies du coeur du Québec. Révisé en Décembre 2006, Elyse Dion diététiste nutritionniste.
151. **Levesque, D., Weis, J. J. 1994**. Orientational and structural order in strongly interacting dipolar hard spheres. *American Physical Society*. 49: 6;5131- 5140 doi/10.1103/PhysRevE.49.5131
152. **Levy AA. et Feldman M. 2002**. The Impact of Polyploidy on Grass Genome Evolution. *Plant physiol.*, 130: 1587-1593.
153. **Li, Z., Wang, L., Hays, T.S., Cai, Y. 2008**. Dynein-mediated apical localization of crumbs transcripts is required for Crumbs activity in epithelial polarity. *J. Cell Biol.* 180(1): 31--38.

## Reference bibliographie :

154. **Lin H. S., McInnes K.J., Wilding L.P. and Hallmark C.T. 1999.** Effects of soil morphology on hydraulic properties: I. Quantification of soil morphology. *Soil Science Society of America Journal*, 63, 948-954.
155. **Logsdon S. D., McCoy, E. L., Allmaras, R. R. & Linden, D. R. 1993.** Macropore characterization by indirect methods. *Soil Science*, 155, 316-324.
156. **Logsdon S.D., Cambardella C.A. 2000.** Temporal changes in small depth-incremental soil bulk density. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64, 710-714.
157. **Logsdon S.D., Kaspar T.C., Cambardella C.A. 1999.** Depth-incremental soil properties under no-till or chisel management. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63, 197-200.
158. **López M.V., Arrúe J.L., Sánchez-Girón V. 1996.** A comparison between seasonal changes in soil water storage and penetration resistance under conventional and conservation tillage systems in Aragón. *Soil Till. Res.* 37, 251-271.
159. **MADR. Ministère de l'agriculture. 2007.** Statistiques agricoles, superficies et productions. Direction des Statistiques Agricoles et des Enquêtes Economiques. Séries B.
160. **MADR. 2011.** Bulletin statistiques de la campagne 2009-2010. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. 23 pages.
161. **MADR. 2017.** Bulletins statistiques de la campagne 2015-2016. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.
162. **MADR. 2021.** Bulletins statistiques de la campagne 2019-2020. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.
163. **Mapfumo P., 2011.** Analysis of the current and potential role of legumes in integrated soil fertility management in Southern Africa in : Bationo A., Waswa B., Okeyo J.M., Maina F., Kihara J., Mkwunye P., 2011. Fighting poverty in SubSaharan Africa: the multiple roles of legumes in integrated soil fertility management. *Springer*, New York, p. 175.
164. **Masse J., Labreuche J., Cariolle M., Reau R. 2004.** Technique sans labour : bilan des expérimentations françaises. Communication du colloque du 31 mars 2004. Comité d'orientatio pour des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement(CORPEN), 24-43.

## Reference bibliographie :

165. **Massicotte D., Denis J., Lamarre G. 2000.** Guide des pratiques de conservation en grandes cultures. Ed.SPVQ. 17p.
166. **Materne M. et Siddique K.H.M. 2009.** Agro ecology and Crop Adaptation in The Lentil Botany, Production and Uses, edited by W. Erskine, F. J. Muehlbauer, Ashutosh Sarker S. Cambridge pp.47-63.
167. **McCalla T.M., Army T.J., 1961.** Stubble mulch farming. *Adv. Agron.* 13, 125-196.
168. **Mebarki M.N., Feddal M.N., Feddal-Taibi S., Labad R., and Mohammedi Z. 2020.** Analysis of the combined effect of direct seeding with seed depth on the behavior of a durum wheat. *J. Soils and crops* 30(1) 1-13.
169. **McFarland F. Hons M., Lemon R. G. 1990.** Effects of tillage and cropping sequence on soil physical properties *Soil and Tillage Research* Volume 17, Issues 1–2, August, Pages 77-86
170. **Melakhessou Z. 2007.** Etude de la nuisibilité directe des adventices sur la culture de pois chiche d’hiver (*Cicer arietinum* L.) cas de variété ILC 3279.
171. **Miller J. J., Sweetland N. J., Larney F. J. and Volkmar K. M. 1998.** Unsaturated hydraulic conductivity of conventional and conservation tillage soils in southern Alberta. *Canadian Journal of Soil Science*, 78, 643-648.
172. **Mitchell J., et Freestone O, Vincent-Wayne. 2004.** Generation Y Attitudes Towards E-ethics and Internet-related Misbehaviours. *Journal of Business Ethics.* 54. 121-128.
173. **Mitchell J., Bradley C. 2006.** Quality of life in age-related macular degeneration: a review of the literature. *Health Qual Life Outcomes* 4: 97. *Health and quality of life outcomes.* 4. 97. 10.1186/1477-7525-4-97.
174. **Monneveux Ph. and Nemmar M.** Contribution à l’étude de la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum durum* DesF). Etude de l’accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie.* 1986, 6(6), 583-590.
175. **Monneveux P., Sanchez C., Beck D., Edmeades G. 2006.** Drought Tolerance Improvement in Tropical Maize Source Populations. *Crop Science - CROP SCI.* 46. 10.2135/cropsci2005.04-0034. Alam K. et al. (2014)
176. **Moran C.J., Koppi A.J., Murphy B.W., McBratney A.B. 1988.** Comparison of the macropore structure of a sandy loam surface soil horizon

## Reference bibliographie :

- subjected to two tillage treatments. *Soil Use and Management*. 4, 96-102.
177. **Moule C. 1980.** Bases scientifiques et techniques de la production des principales espèces de grande culture en France, Ed, Miason Rustique, Paris, 319p.
178. **Mrabet R. 1997.** Crop residue management and tillage systems for water conservation in a semiarid area of Morocco. *PhD dissertation. Colorado State Univ.*
179. **Mrabet R. 2001.** Le semis direct : une technologie avancée pour une agriculture durable au Maroc. *MADREF – DERD*. N° 76, 4p. <http://agriculture.ovh.org>.
180. **Mrabet R. 2002.** Wheat yield and water use efficiency under contrasting residue and tillage management systems in a semiarid area of Morocco. *Exp. Agric.*, 38: 237-248.
181. **Mrabet R. 2010.** Climate change and carbon sequestration in the mediterranean bassin : contribution of no tillage systems. Les actes des 4e Rencontres Méditerranéennes du Semis Direct. Sétif Algérie 3,4,5 mai 2010. N° spécial *revue Recherche agronomique*. Pp : 106-126
182. **Monnier G., Thevenet G., Lesaffre B. 1991.** Simplification du travail du sol, INRA, édition, Paris (France), pp. 35-62.
183. **Munawar A., Blevins R. L., Frye W.W. and Saul M.R. 1990.** Tillage and cover crop management for soil water conservation. *Agronomy Journal*, 82, 773-777.
184. **Ngamo L.S.T., Hance Th. 2007.** Diversité des ravageurs des denrées et méthodes alternatives de lutte en milieu tropical. *Tropicultura*, 25 (4), 215-22.
185. **Nicou R. et Chopart 1972.** Le travail du sol on terre oxoncloes et SCIS incidences agronomiques. *Dot.mult. IRAT CNRA Dambey, Si, gol*, 20p.
186. **Novak A.E., Taylor A.D., Pineda R.H., Lasda E.L., Wright M.A., and Ribera A.B. 2006.** Embryonic and larval expression of zebrafish voltage-gated sodium channel alpha-subunit genes. *Developmental dynamics: an official publication of the American Association of Anatomists* 235(7): 1962-1973.
187. **Obsa Adugna, 2019.** Effect of Different Tillage Practices on Production of Soya Bean - Maize (*Zea mays* l. - *Glycine max* l.) in Clay Loam of Assosa, Ethiopia," *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, Juniper Publishers Inc., 19(5) 138-143.
188. **Ouanzar S. 2012.** Etude comparative de l'effet du semis direct et du labour conventionnel sur le comportement du blé dur (*Triticum durum* Desf.). Thèse Magister en science agronomiques, uuniversité Ferhat Abbas Sétif 1 Faculté des Sciences de la Nature et de la vie, 70 p.

## Reference bibliographie :

189. **Pachepsky Y.A. and Rawls W.J. 2003.** Soil structure and pedotransfer functions. *European Journal of Soil Science*, **54**, 443-451.
190. **Padilla M., Oberti B. 2000.** Alimentation et nourritures autour de la méditerranée. Paris : *Karthala*.
191. **Padilla M. ; Aubaile-Sallenave F. ; Oberti B. 2000.** Comportements alimentaires et pratiques culinaires en Méditerranée in Santé et alimentation méditerranéenne, actualité et perspectives. Libbey International.
192. **Pal D., Ranadev S., Ravindra b., Kudupudi S., Mohammed. 2018.** Pal et al-2018- Journal of Marine Science and Application. *Journal of Marine Science and Application*.
193. **Parlawar N. D. Jiotode D. J. Khawle V. S. Kubde K. J. and Puri P. D. 2017.** Effect of Planting Geometry and Varieties on Morpho – Physiological Parameters and Yield of Cotton. *IJBAT*, 5(2): 429-436
194. **Pelegrin F., Moreno F., Martin-Aranda J., Camps M. 1988.** The influence of tillage methods on soil-water conservation in SW Spain. In: Tillage and traffic in crop production, Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Conference of the *International Soil Tillage Research Organization*. 11-15<sup>th</sup> July, Edinburgh, Scotland, volume 2, pp. 803-808.
195. **Pelegrin F., Moreno F., Martin-Aranda J., Camps M., 1990.** The influence of tillage methods on soil physical properties and water balance for a typical crop rotation in SW Spain. *Soil Till. Res.* 16, 345-358.
196. **Pereira P.A.A., Bliss F.A., 1989.** Selection of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) for N<sub>2</sub> fixation at different levels of available phosphorus under field and environmentally controlled conditions. *Plant Soil* 115, p.p. 75-82.
197. **Pikul J.L., Asae, J.K. 1995.** Infiltration and soil properties as affected by annual cropping in the northern Great Plains. *Agron. J.* 87, 656-662.
198. **Radcliffe D.E., Tollner E.W., Hargrove W.L., Clark R.L., Golabi M.H. 1988.** Effect of tillage practices on infiltration and soil strength of a Typic Hapludult soil after ten years. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52, 798-804.
199. **Rasmussen K.J. 1999** - Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: a Scandinavian review. *Soil & Tillage Research* 53:3-14.
200. **Rechel E., Meek B., DeTar W., Carter L., Rolph, D.. (1990).** Infiltration Rate as Affected by an Alfalfa and No-Till Cotton Cropping System. *Soil Science Society of*

## Reference bibliographie :

- America Journal* - SSSAJ. 54.
201. **Reicosky D.C. 2015.** Conservation tillage is not conservation agriculture. *J. Soil Water Conserv.*, 70, 103–108.
202. **Reynolds W.D., Drury C.F., Yang X.M., Fox C.A., Tan C.S., Zhang T.Q. 2007.** Land management effects on the near-surface physical quality of a clay loam soil. *Soil Tillage Res.*, 96, 316–330.
203. **Rhoton F.E., Bruce R.R., Buehring N.W., Elkins G.B., Langdale C.W., Tyler D.D. 1993.** Chemical and physical characteristics of four soil types under conventional and no-tillage systems. *Soil Till. Res.* 28, 51-61.
204. **Riah w., Laval K., Laroche-Ajzenberg E. 2014.**...Effects of pesticides on soil enzymes : a review.
205. **Richard G., Mary B., Boizard H., Roger-Estrade J., Chenu C. 2004.** Impacts des techniques culturales sans labour sur le fonctionnement des sols cultivés : composantes physique et organique. In: *Techniques culturales sans labour*. Paris : éditions CORPEN
206. **Salem H.M., Valero C., Muñoz M.A., Gil Rodríguez M., Silva L.L. 2015.** Short-term effects of four tillage practices on soil physical properties, soil water potential, and maize yield. *Geoderma*, 237–238, 60–70. seeding on mulch on a field scale. *Options Mediterranean's*, 69: 125-129.
207. **Seignobos Ch. 1985.** Instruments aratoires du Tchad méridional et du Nord-Cameroun D, in *Instruments aratoires en Afrique noire*, Cahiers ORSTOM, série Sciences humaines, vol. XXX, no 3-4, pp. 537-573.
208. **Shrestha N., Kukkonen-Harjula KT., Verbeek JH., Ijaz S., Hermans V., Pedisic Z. 2018.** Workplace interventions for reducing sitting at work. *The Cochrane Database of Systematic Reviews* 12, CD010912-CD010912.
209. **Simmons C., Khursheed S., Sartaj A., Ali T., Sk R., and Gr N. .2019.** Conservation tillage : impacts on soil physical conditions – an overview. *Advances in Plants & Agriculture Research*, 9(2), 342–346. <https://doi.org/10.15406/apar.2019.09.00446>
210. **Soltner D. 2000.** Phytotechnie générale : les bases de la production végétales. Tome 1 : le sol et son amélioration. Ed. Collection sciences et techniques agricoles, 467 p.

## Reference bibliographie :

211. **Stanek-Tarkowska J., Czyż E., Dexter A. and Slawinski, Cezary. 2018.** Effects of reduced and traditional tillage on soil properties and diversity of diatoms under winter wheat. *International Agrophysics*. 32. 403-409. 10.1515/intag-2017-0016.
212. **Stelluti M., Maiorana M., De Giorgio D. 1998.** Multivariate approach to evaluate the penetrometer resistance in different tillage systems. *Soil Till. Res.* 46, 145-151.
213. **Strudley M.W., Green TR., Ascough J.C. 2008.** Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science, *Soil and Tillage Resources*, 99:4-48.
214. **Taboada M.A., Micucci F.G., Cosentino D.J., Lavado R.S. 1998.** Comparison of compaction induced by conventional and zero tillage in two soils of the Rollin Pampa of Argentina. *Soil Till. Res.* 49, 57-63.
215. **Taylor and Gardner, 1963.-** Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content, and strength of soil. *Soil Sci.* 96 (1963), pp. 153-156.
216. **Tebrügge F., Düring R.A. 1999.** Reducing tillage intensity - a review of results from a long-term study in Germany. *Soil Till. Res.* 53, 15-28.
217. **Tiercelin J.R. 1998** Traité d'irrigation. Ed. Paris : Lavoisier.
218. **Tracy S.R., Black C.R., Roberts J.A., McNeill A., Davidson R., Tester M., Samec M., Korošak D., Sturrock C. and Mooney S.J. 2012.** Quantifying the effect of soil compaction on three varieties of wheat (*Triticum aestivum* L.) using X-ray Micro Computed Tomography (CT). *Plant Soil*, 353, 195–208.
219. **Tracy S.R., Black C.R., Roberts J.A. and Mooney S.J. 2013.** Exploring the interacting effect of soil texture and bulk density on root system development in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Environ. Exp. Bot.*, 91, 38–47.
220. **Unger P.W., Jones O.R., 1998.** Long-term tillage and cropping systems affect bulk density and penetration resistance of soil cropped to dryland wheat and grain sorghum. *Soil Till. Res.* 45, 39-57.
221. **Vertes F., Jeuffroy M. H., Justes E., Thiebeau P., Corson M. 2010.** Connaître et maximiser les bénéfices environnementaux liés à l'azote chez les légumineuses, à l'échelle de la culture, de la rotation et de l'exploitation. *Innovations agronomiques*, 11, 25-44.
222. **Viaux P., 1999.** Une 3ème voie en grand culture : environnement, Qualité, rentabilité. Ed. Agridécisions. pp 49-69.

## Reference bibliographie :

223. **Vilain M. 1987.** La production végétale Volume I, les composantes du rendement. Ed. JB Baillierie ; Paris, 294p.
224. **Voorhees P., Inge Hankinson, Ward B., Elonen, G.S.V. Raghavan, Birl Lowery, Van Wijk, Karl Rasmussen, Hugh Riley.1987.**Effect of high axle-load traffic on subsoil compaction and crop yield in humid regions with annual freezing, *Soil and Tillage Research*, Volume 10, Issue 3, Pages 259-2681987, doi.org/10.1016/0167-1987(87)90032-8
225. **Wander M.M., Bollero G.A. 1999.** Soil quality assessment of tillage impacts in Illinois. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63, 961-971.
226. **Ward J. K., Villarroel A., B Miller T., Johnson E.D., Noyes K.R. 2013.** Factors affecting serum total protein and immunoglobulin G concentration in replacement dairy calves. *Advances in Dairy Research*,
227. **Worou D. K., Zandjanakou-Tachin M., Boulga J. et Bokonon A. H. 2016.** Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB) - Numéro spécial Agronomie, Société, *Environnement & Sécurité Alimentaire* - Août 2016. Pages (pp.) 132-143
228. **Yachi A., Feddal M.A., Amara M., Badouna B.E, Bentahar D., Mebarki M.N., Echcherki S., Bensabti H.A., Zibani M.N. 2021.** Reflection of the development of cultivation techniques on the growth and development of durum wheat (*Triticum durum*) in Algeria. *Research on Crops 22 (1)*,
229. **Yasin M., Grisso R.D., Bashford L.L., Jones A.J., Mielke L.N. 1993.** Normalizing cone resistance values by covariance analysis. *Trans. ASAE.* 36, 1267-1270.
230. **www.simtech-aitchison.com**
231. **www.sulky-burel.com**