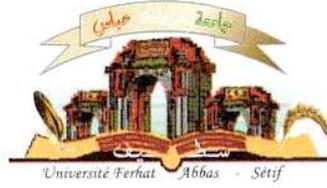


الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Université Ferhat Abbas Sétif 1  
Faculté des Sciences de la  
Nature et de la Vie



جامعة فرحات عباس، سطيف 1  
كلية علوم الطبيعة و الحياة

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

N° ...../SNV/2015

## MÉMOIRE

Présenté par

**ALLALI Khadidja**

Pour l'obtention du diplôme de

**MAGISTER EN AGRONOMIE**

**Spécialité: GENETIQUE ET AMELIORATION DES PLANTES**

## THÈME

**Amélioration de la production du blé dur sous systèmes de culture  
innovants**

Soutenue publiquement le 22/10./2015

DEVANT LE JURY

Président	<b>Benmahammed Amar</b>	<b>Pr UFA Sétif 1</b>
Directeur	<b>Kribaa Mohamed</b>	<b>Pr UFA Sétif 1</b>
Examineurs	<b>Rouag Noureddine</b>	<b>MCA UFA Sétif 1</b>
	<b>Makhlouf Abdelhamid</b>	<b>MCA UFA Sétif 1</b>

## REMERCIEMENTS

Je remercie tout d'abord Dieu « **ALLAH** » le tout puissant de m'avoir donnée la santé, et le courage pour atteindre mon objectif. Sans sa miséricorde, ce travail n'aurait pas abouti.

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer toute ma reconnaissance et remerciements à mon encadreur monsieur **KRIBAA Mohamed**, Professeur au département des sciences agronomiques de l'université Ferhat Abbas de Sétif. Pour son aide, sa patience, ses conseils, sa disponibilité et son énergie, qui m'ont guidé. Sans l'aide d'Allah et la sienne, ce travail n'aurait jamais abouti. Respect et sincères remerciements.

Je tiens aussi à exprimer mes plus grands respects et mes vifs remerciements au Professeur **BENMAHAMMED Amar** pour son acceptation de présider le jury.

Mes remerciements les plus profonds aux Docteurs **ROUAG Noureddine** et **MAKHLOUF Abdelhamid** Maitres de conférences A au département des sciences agronomiques de l'université Ferhat Abbas de Sétif, qui m'ont fait l'honneur d'examiner ce travail.

J'ai beaucoup de plaisir à remercier les professeurs **BENMAHAMMED Amar** et **BOUZERZOUR Hamenna** pour ses pertinents conseils, je leur en suis très reconnaissante.

Je remercie le directeur de l'ITG pour l'accueil, Je tiens aussi à remercier le personnel de L'ITGC et en particulier Mr **MAKHLOUF Mahfoud** et Mr **LAOUER Salim**.

J'adresse mes sincères remerciements au personnel de l'INRAA de Sétif, plus particulièrement le docteur **GUENDOUZ Ali**, Mr. **HANNACHI Abderrahmane**, et Mr. **FELLAHI Zine elAbidine**.

Je voudrais remercier **DJOUDI Chaima**, **MEROUANI Amina**, et **RAHMANI Saliha** qui m'ont aidé sur terrain.

Enfin je remercie également toutes les personnes, ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à*

*La mémoire de mon très cher père*

*A ma très chère mère*

*A mes très chers frères : Khaled, Bahaaeddine, et Amrallah*

*A mes très chères sœurs : Kheira, et Hadjer.*

*A mes très chers neveux : Mohamed Yacine, Ali, et Ilyess*

*A mes très chères amies de la promotion de magister  
plus particulièrement : SALMI Manel et RAHMANI Saliha*

## Amélioration de la production du blé dur sous systèmes de culture innovants

### Résumé

Les régions semi- arides se caractérisent par l'irrégularité et la rareté des précipitations, ainsi que la gestion inappropriée du sol qui conduisent à la réduction du rendement des cultures. Le besoin de maximiser la conservation de l'eau dans le sol et d'améliorer le rendement des cultures contribue à l'émergence du système de semis direct. En effet, Afin d'étudier le comportement du sol et de la culture de blé dur (*Triticum durum* .Desf) variété Boussellem sous l'effet de deux pratiques culturales (travail conventionnel et semis direct) et de quatre précédents culturaux (jachère travaillée, jachère chimique, pois fourrager, et blé) dans les conditions semi-arides, nous avons réalisé notre expérimentation au cours de la campagne agricole 2013-2014 au niveau de la Station Expérimentale Agricole de l'Institut Technique des Grandes Cultures de Sétif. Le labour conventionnel paraît plus performant que le semis direct pour le rendement grain et ses composantes, et la biomasse aérienne. Mais aucune différence significative n'a été signalé pour le poids de mille grains, le rendement en paille et les caractères morpho-physiologiques (teneur relative en eau, teneur en chlorophylle, et surface foliaire). Aussi, il n'existe pas de différence significative entre les précédents culturaux, mais le précédent blé semble avantageux pour le nombre de talles/m<sup>2</sup> et la fertilité épi. Le précédent pois fourrager conduit à l'amélioration de la biomasse aérienne, le rendement en paille et la teneur en chlorophylle en cas du sol non labouré. La valeur la plus élevée de la teneur relative en eau a été notée avec le précédent jachère. L'étude des caractéristiques du sol indique des différences non significatives entre les traitements pour l'humidité du sol, la densité apparente, et la résistance à la pénétration. Mais le sol non labouré présente une certaine compaction par rapport au sol labouré, qui présente une meilleure vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol. Ces résultats sont confirmés par la corrélation significative et négative ( $r = -0,8733^*$ ) ( $P < 0.05$ ) entre la densité apparente et la vitesse d'infiltration. Le non labour présente une meilleur teneur en matière organique que le système de labour conventionnel.

**Mots clés :** Amélioration; Blé dur; Semis direct; Travail conventionnel; Précédent cultural; Rendement et composantes; Sol; Semi-aride.

## Improving the Durum wheat production in innovative cropping systems

### Abstract

The semi-arid regions are characterized by irregularity and scarcity of rainfall, and inappropriate soil management that lead to the crop yields losses. The need to maximize the conservation of water in the soil and optimize the crop yields have contributed to the emergence of direct seeding system. To study the behavior of soil and durum wheat growth (*Triticum durum* .Desf) Boussellem variety under two cropping systems (conventional tillage and direct seeding) and four previous crops (plowed fallow, chemical fallow, fodder pea, and wheat) in semi-arid conditions, our experimentation was conducted at the Agricultural Experimental Station from the Technical Institute of Field Crops of Setif during 2013-2014. The conventional tillage appears to be more efficient than direct seeding for grain yield and its components, and above ground biomass. However, no significant difference was reported for thousand kernel weight, straw yield and morpho-physiological characters (relative water content, chlorophyll content, and leaf area). Also, there was no significant difference appeared between the previous crops, but the precedent wheat seems to be advantageous for the number of tillers/m<sup>2</sup> and spike fertility. The fodder pea as a previous crop contributed to the improvement of above ground biomass, straw yield and chlorophyll content under no tillage. The highest relative water content estimate was recorded in the precedent fallow. The study of soil characteristics indicates non-significant differences between treatments for soil moisture, bulk density, and the penetrometric resistance. Nevertheless, the untilled soil was more compact compared to the plowed which had a better water infiltration. These results are confirmed by the significant negative relationship ( $r = -0.8733^*$ ) ( $P < 0.05$ ) between the soil bulk density and the hydraulic conductivity. The no-tillage showed a better organic matter than the conventional tillage system.

**Keywords:** Improvement; Durum wheat; Direct seeding; Conventional tillage; Previous crop; Yield and its components; Soil; Semi-arid.

## تحسين إنتاج القمح الصلب في الأنظمة الزراعية المبتكرة

### ملخص

تتميز المناطق الشبه جافة بعدم إنتظام وندرة الأمطار، و كذلك التسيير الغير ملائم للتربة الذي أدى إلى إنقاص المردود. الإحتياج لحفظ الماء في التربة إلى أقصى حد و تحسين مردود الزراعة ساهم في ظهور تقنية البذر المباشر. إذن من أجل دراسة سلوك التربة و نبات القمح الصلب (*Triticum durum. Desf.*) صنف بوسلام تحت تأثير التقنيتين الزراعيتين (الحرث التقليدي و البذر المباشر) و أربعة أنواع من المحاصيل السابقة (أرض بور محروثة، أرض بور كيميائية، البازلاء العلفية، و القمح) في المناطق الشبه جافة، قمنا بإجراء هاته التجربة على مستوى محطة التجارب الفلاحية التابعة للمعهد التقني للزراعات الكبرى بسطيف خلال الموسم الزراعي 2013-2014. ظهرت تقنية الحرث التقليدي أكثر ملائمة بالنسبة للمردود الحبي و مكوناته، والكتلة الحيوية مقارنة بالبذر المباشر. لكن لا يوجد هناك فرق ذو معنى بين التقنيتين بخصوص وزن ألف حبة، و مردود القش والخصائص المورفولوجية (المحتوى المائي النسبي، محتوى الكلوروفيل، ومساحة الورقة). كما لا يوجد أي فرق معنوي بين المحاصيل السابقة، غير أن المحصول السابق المتمثل في القمح أظهر نتائج إيجابية بخصوص عدد الفروع في المتر المربع و خصوبة السنبل. أدت البازلاء العلفية المزروعة سابقا إلى تحسين الكتلة الحيوية، مردود القش، و محتوى اليخضور في حالة التربة الغير محروثة. سجل المحتوى المائي النسبي أكبر قيمة له مع أرض بور سابقة. أظهرت دراسة خصائص التربة عدم وجود أي فروق ذات معنى بين العوامل المدروسة بخصوص نسبة الرطوبة في التربة، الكثافة الظاهرة للتربة، و مقاومة التربة للإختراق. كما كانت التربة الغير محروثة نوعا ما متماسكة مقارنة بالتربة المحروثة التي كانت تتميز بسرعة تغلغل الماء في التربة أكبر. العلاقة الدالة و السلبية ( $r = -0.8733^*$ ) بين الكثافة الظاهرة للتربة و سرعة تغلغل الماء في التربة تؤكد هاته النتائج. ظهرت المادة العضوية في التربة بكمية أكبر في التربة الغير محروثة مقارنة بالتربة المحروثة.

**الكلمات المفتاحية:** تحسين ؛ القمح الصلب ؛ البذر المباشر ؛ الحرث التقليدي ؛ محصول سابق ؛ المردود و مكوناته ؛ تربة ؛ شبه جافة.

## LISTE DES ABREVIATIONS

<b>%</b>	pour cent.
<b>B</b>	Blé.
<b>BIO</b>	Biomasse aérienne.
<b>°C</b>	Degré Celsius.
<b>C</b>	Carbone.
<b>CA</b>	Agriculture de Conservation.
<b>Chlor.</b>	Chlorophylle.
<b>CIC</b>	Centre International des Céréales.
<b>CIMMYT</b>	International Maize and Wheat Improvement Center.
<b>cm</b>	Centimètre.
<b>cm<sup>2</sup></b>	Centimètre carré.
<b>cm<sup>3</sup></b>	Centimètre cube.
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dioxyde de carbone.
<b>CV</b>	Coefficient de variation.
<b>Da</b>	Densité apparente.
<b>ECAF</b>	European Conservation Agriculture Federation.
<b>ET</b>	Evapotranspiration.
<b>ETc</b>	Evapotranspiration de culture.
<b>ETo</b>	Evapotranspiration de référence.
<b>EUN</b>	Efficacité d'utilisation d'azote.
<b>FAO</b>	Food and Agricultural Organization (Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture).
<b>Fig.</b>	Figure.
<b>g</b>	Gramme.
<b>g.cm<sup>-3</sup></b>	Gramme par centimètre cube.
<b>g/L</b>	Gramme par litre.
<b>g/m<sup>2</sup></b>	Gramme par mètre carré.
<b>H %</b>	Humidité du sol.
<b>h</b>	Heure.
<b>ha</b>	Hectare.
<b>HI</b>	Indice de récolte.
<b>Ht P</b>	Hauteur des plantes.

<b>ICARDA</b>	International Center for Agricultural Research in Dry Areas.
<b>ICI</b>	Imperial Chemical Industries.
<b>IFOAM</b>	International Federation of Organic Agriculture Movements standards.
<b>INRA</b>	Institut National de la Recherche Agronomique.
<b>ITGC</b>	Institut Technique des Grandes Cultures.
<b>JAS</b>	Jours Après Semis.
<b>JC</b>	Jahère Chimique.
<b>JT</b>	Jachère Travaillée.
<b>K</b>	Potassium.
<b>Kc</b>	Coefficient cultural.
<b>K(h)</b>	Conductivité hydraulique proche de la saturation.
<b>kg</b>	Kilogramme.
<b>kg/ha</b>	Kilogramme par Hectare
<b>kg /hab. /an</b>	Kilogramme par habitant par an.
<b>Km</b>	Kilomètre.
<b>kPa</b>	KiloPascal.
<b>L/ha</b>	Litre par hectare.
<b>m</b>	Mètre.
<b>m<sup>2</sup></b>	Mètre carré.
<b>MADR</b>	Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.
<b>mg. ha<sup>-1</sup></b>	Milligramme par Hectare.
<b>mg.m<sup>-3</sup></b>	Milligramme par mètre cube.
<b>mm</b>	Millimètre.
<b>mm/h</b>	Millimètre par heure.
<b>MO</b>	Matière Organique.
<b>Mt</b>	Millions tonnes
<b>N/cm<sup>2</sup></b>	Manomètre par centimètre carré.
<b>N</b>	Azote.
<b>NE/ m<sup>2</sup></b>	Nombre d'épis par mètre carré.
<b>NGE</b>	Nombre de grains par épi.
<b>NP/m<sup>2</sup></b>	Nombre de plants levés par mètre carré.
<b>NT /m<sup>2</sup></b>	Nombre de talles par mètre carré.
<b>OAIC</b>	Office Algérien Interprofessionnel des Céréales.
<b>OCDE</b>	Organisation de Coopération et de Développement Economiques.

<b>P</b>	Phosphore.
<b>P (mm)</b>	Précipitations.
<b>Pf</b>	Poids Frais.
<b>PF</b>	Pois Fourrager.
<b>pH</b>	Potentiel Hydrogène.
<b>PMG</b>	Poids de Mille Grains.
<b>PPDS<sub>5%</sub></b>	Plus Petite Différence Significative au seuil 5%.
<b>PPL</b>	Rendement en paille.
<b>PS</b>	Poids Sec.
<b>PT</b>	Poids Turgide.
<b>Qx</b>	Quintaux.
<b>q /ha</b>	Quintaux par hectare.
<b>RDT</b>	Rendement grain.
<b>Rp</b>	Résistance pénétrométrique.
<b>SAU</b>	Superficie Agricole Utile.
<b>SC</b>	Système conventionnel.
<b>SD</b>	Semis Direct.
<b>SEA</b>	Station Expérimentale Agricole.
<b>SF</b>	Surfae Foliaire.
<b>SPAD</b>	Soil Plant Analysis Developpement.
<b>T (°C)</b>	Temperature.
<b>Tab.</b>	Tableau.
<b>TC</b>	Travail Conventionnel.
<b>t C ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup></b>	Tonnes de Carbone par Hectare par An.
<b>TRE</b>	Teneur Relative en Eau.
<b>USA</b>	United States American (les Etats-Unis).

## LISTE DES TABLEAUX

Numéro	Titre	Page
<b>Tableau I-1</b>	Les récoltes de blé dans le monde par grandes zones et principaux pays producteurs (blé tendre et blé dur) (millions de tonnes).	<b>09</b>
<b>Tableau I-2</b>	Superficies emblavées et récoltées pour les céréales et le blé dur en Algérie (U: Ha).	<b>10</b>
<b>Tableau I-3</b>	Evolution de la production du blé dur et des céréales en Algérie (U: Qx).	<b>12</b>
<b>Tableau I-4</b>	Evolution du rendement du blé dur et des céréales en Algérie (q.ha <sup>-1</sup> ).	<b>14</b>
<b>Tableau III-1</b>	Résultats de l'analyse de la variance des caractères agronomiques pour les différents traitements.	<b>45</b>
<b>Tableau III-2</b>	Résultats de l'analyse de la variance des rendements de la culture du blé dur pour les différents traitements.	<b>60</b>
<b>Tableau III-3</b>	Résultats de l'analyse de la variance de la teneur relative en eau (TRE), la teneur en chlorophylle (Chloro.), et la surface foliaire pour les différents traitements.	<b>69</b>
<b>Tableau III-4</b>	Résultats de l'analyse de la variance de l'état de l'humidité du sol en (%) par rapport au précédent cultural et au mode de semis.	<b>75</b>
<b>Tableau III-5</b>	Résultats de l'analyse de la variance de la densité apparente du sol en (g.m <sup>-3</sup> ) par rapport au précédent cultural et au mode de semis.	<b>83</b>
<b>Tableau III-6</b>	Résultats de l'analyse de la variance de la résistance à la pénétration du sol en (N.cm <sup>-2</sup> ) par rapport au précédent cultural et au mode de semis.	<b>87</b>
<b>Tableau III-7</b>	Résultats de l'analyse de la variance de la conductivité hydraulique du sol en (mm/h) par rapport au précédent cultural et au mode de semis.	<b>89</b>
<b>Tableau III-8</b>	Résultats de l'analyse de la variance de la matière organique (%) du sol par rapport au précédent cultural et au mode de semis.	<b>92</b>
<b>Tableau III-9</b>	Coefficients de corrélation (en dessous) et probabilité (en dessus) entre les variables mesurées chez le blé dur.	<b>95</b>
<b>Tableau III-10</b>	Coefficients de corrélation (en dessous) et probabilité (en dessus) entre les variables mesurées chez le sol.	<b>98</b>
<b>Tableau III-11</b>	Coefficients de corrélation (en dessous) et probabilité (en dessus) entre les variables mesurées chez le sol et la végétation.	<b>101</b>

## LISTE DES ANNEXES

<b>Numéro</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau 1</b>	Résultats de l'analyse de la variance de la biomasse accumulée (g/m <sup>2</sup> ) chez les plantes adventices pour les différents traitements au 155 JAS.	<b>131</b>
<b>Tableau 2</b>	Coefficients de corrélation entre le rendement grain, le nombre de plants levés, le nombre d'épis/m <sup>2</sup> , et le nombre de grains par épi avec la biomasse des plantes adventices.	<b>131</b>
<b>Tableau 3</b>	Valeurs moyennes des caractères agronomiques pour les différents traitements.	<b>132</b>
<b>Tableau 4</b>	Valeurs moyennes des rendements de la culture du blé dur pour les différents traitements.	<b>132</b>
<b>Tableau 5</b>	Valeurs moyennes de la teneur relative en eau (TRE), la teneur en chlorophylle (Chloro.) et la surface foliaire pour les différents traitements.	<b>132</b>
<b>Tableau 6</b>	Valeurs moyennes de l'état de l'humidité du sol en (%) par rapport au précédent cultural et au mode de semis.	<b>133</b>
<b>Tableau 7</b>	Valeurs moyennes des propriétés liées au sol.	<b>133</b>

## LISTE DES FIGURES

Numéro	Titre	Page
<b>Figure I-1</b>	Superficies emblavées et récoltées pour le blé dur et superficies récoltées des céréales en Algérie.	<b>11</b>
<b>Figure I-2</b>	Evolution de la production du blé dur et des céréales en Algérie (U : Qx).	<b>12</b>
<b>Figure I-3</b>	Evolution du rendement du blé dur et des céréales en Algérie (q.ha <sup>-1</sup> ).	<b>14</b>
<b>Figure II-1</b>	Schéma du dispositif expérimental.	<b>36</b>
<b>Figure II-2</b>	Photo du semoir de semis direct.	<b>37</b>
<b>Figure III-1</b>	Courbes ombrothermiques caractérisant la pluviométrie et la température de la campagne moyenne des 20 ans et des deux dernières campagnes enregistrées dans la région de Sétif.	<b>43</b>
<b>Figure III-2</b>	Variation du nombre de plants levés en relation avec le système de culture et le type du précédent.	<b>46</b>
<b>Figure III-3</b>	Variation du nombre de talles par mètre carré en relation avec le système de culture et le type du précédent.	<b>49</b>
<b>Figure III-4</b>	Variation de la hauteur des plantes en relation avec le système de culture et le type du précédent.	<b>50</b>
<b>Figure III-5</b>	Variation du nombre d'épis par mètre carré au stade épiaison en relation avec le système de culture et le type du précédent.	<b>53</b>
<b>Figure III-6</b>	Variation du nombre d'épis par mètre carré au stade maturité en relation avec le système de culture et le type du précédent.	<b>54</b>
<b>Figure III-7</b>	Variation du nombre de grains par épi (NGE) en relation avec le système de culture et le type du précédent.	<b>56</b>
<b>Figure III-8</b>	Variation du poids de mille grains (g) en relation avec le système de culture et le type du précédent.	<b>58</b>
<b>Figure III-9</b>	Variation de la longueur d'épi en relation avec le système de culture et le type du précédent.	<b>59</b>
<b>Figure III-10</b>	Variation du rendement grain en relation avec le système de culture et le type du précédent.	<b>61</b>
<b>Figure III-11</b>	Variation du rendement en biomasse aérienne en relation avec le système de culture et le type du précédent.	<b>65</b>
<b>Figure III-12</b>	Variation du rendement en paille en relation avec le système de culture et le type du précédent.	<b>66</b>

<b>Figure III-13</b>	Variation de l'indice de récolte en relation avec le système de culture et le type du précédent.	<b>68</b>
<b>Figure III-14</b>	Variation de la teneur relative en eau en relation avec le système de culture et le type du précédent.	<b>70</b>
<b>Figure III-15</b>	Variation de la teneur en chlorophylle en relation avec le système de culture et le type du précédent.	<b>72</b>
<b>Figure III-16</b>	Variation de la surface foliaire (cm <sup>2</sup> ) en relation avec le système de culture et le type du précédent.	<b>73</b>
<b>Figure III-17</b>	Cinétique d'évolution de l'humidité du sol sous le semis direct et le système conventionnel.	<b>76</b>
<b>Figure III-18</b>	Variation de l'humidité du sol en relation avec le précédent cultural et les dates de prélèvement pour les deux techniques culturales.	<b>77</b>
<b>Figure III-19</b>	Humidité du sol dans les trois profondeurs pour la date 131JAS.	<b>79</b>
<b>Figure III-20</b>	Humidité du sol dans les trois profondeurs pour la date 145 JAS.	<b>79</b>
<b>Figure III-21</b>	Humidité du sol dans les trois profondeurs pour la date 159 JAS.	<b>80</b>
<b>Figure III-22</b>	Humidité du sol dans les trois profondeurs pour la date 175 JAS.	<b>81</b>
<b>Figure III-23</b>	Variation de la densité apparente du sol en relation avec le mode de semis et le type du précédent.	<b>84</b>
<b>Figure III-24</b>	Variation de la résistance pénétrométrique du sol en relation avec le mode de semis et le type du précédent.	<b>87</b>
<b>Figure III-25</b>	Variation de la conductivité hydraulique du sol en relation avec le mode de semis et le type du précédent.	<b>90</b>
<b>Figure III-26</b>	Variation de la matière organique du sol en relation avec le mode de semis et le type du précédent.	<b>92</b>
<b>Figure III-27</b>	Relation entre la vitesse d'infiltration (mm/h) et la densité apparente (g/cm <sup>3</sup> ).	<b>99</b>
<b>Figure III-28</b>	Relation entre le nombre de grains par épi et l'humidité du sol au 145 JAS (%).	<b>102</b>
<b>Figure III-29</b>	Relation entre la surface foliaire et l'humidité du sol au 145 JAS (%).	<b>102</b>
<b>Figure III-30</b>	Relation entre le nombre de talles par m <sup>2</sup> et la conductivité hydraulique (mm/h).	<b>103</b>
<b>Figure III-31</b>	Relation entre l'indice de récolte (%) et l'humidité du sol au 67 JAS (%).	<b>104</b>
<b>Figure III-32</b>	Relation entre la longueur d'épi (cm) et l'humidité du sol au 117 JAS (%).	<b>104</b>
<b>Figure III-33</b>	Relation entre le nombre d'épis par m <sup>2</sup> et la résistance à la pénétration (N/cm <sup>2</sup> ).	<b>105</b>
<b>Figure III-34</b>	Relation entre le rendement grain (q/ha) et la matière organique du sol (%).	<b>105</b>

# TABLE DES MATIERES

	<b>Pages</b>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>01</b>
<b>CHAPITRE I. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</b> .....	<b>03</b>
1. Le blé dur : exigences et importance.....	<b>03</b>
1.1. Les exigences du blé dur.....	<b>03</b>
1.1.1. Les exigences pédologiques du blé dur.....	<b>03</b>
1.1.2. Les exigences du blé dur en eau .....	<b>04</b>
1.1.3. Les exigences du blé dur en température.....	<b>05</b>
1.1.4. Les exigences en éléments minéraux.....	<b>06</b>
1.2. Importance de la culture de blé dur.....	<b>08</b>
1.2.1. Importance de la culture de blé dur dans le monde.....	<b>08</b>
1.2.2. Importance de la culture de blé dur en Algérie.....	<b>10</b>
2. Agriculture de conservation : alternative de pratiques culturales.....	<b>16</b>
2.1. Définition de l'agriculture de conservation.....	<b>16</b>
2.2. Les principes de l'agriculture de conservation.....	<b>17</b>
2.2.1. Le travail du sol de conservation.....	<b>17</b>
2.2.2. La couverture permanente du sol.....	<b>22</b>
2.2.3. La rotation des cultures.....	<b>23</b>
3. Effets du semis direct sur les composantes du milieu cultivé.....	<b>25</b>
3.1. Effets du semis direct sur la composante biologique .....	<b>25</b>
3.2. Effets du semis direct sur la composante chimique.....	<b>27</b>
3.3. Effets du semis direct sur la composante physique.....	<b>28</b>
<b>CHAPITRE II. MATERIELS ET METHODES</b> .....	<b>34</b>
1. Description du site expérimental.....	<b>34</b>
2. Matériel végétal.....	<b>34</b>
3. Traitements et dispositif expérimental.....	<b>35</b>
4. Notations.....	<b>37</b>
4.1. Les paramètres liés au sol.....	<b>37</b>
4.2. Les paramètres liés à la végétation.....	<b>40</b>
5. Analyses statistiques.....	<b>42</b>

<b>CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION</b> .....	<b>43</b>
1. Caractéristiques du climat de la campagne d'étude.....	<b>43</b>
2. Comportement du blé dur sous les différentes pratiques culturales.....	<b>45</b>
3. Comportement du sol sous les différentes pratiques culturales.....	<b>75</b>
4. Confrontation des paramètres étudiés.....	<b>95</b>
<b>CONCLUSION GENERALE</b> .....	<b>106</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	<b>108</b>
<b>ANNEXES</b> .....	<b>131</b>

# **INTRODUCTION**

## **Introduction**

En Algérie, la production des céréales, occupe environ 80 % de la superficie agricole utile (SAU) du pays (Djermoun, 2009). Les céréales sont cultivées entre les isohyètes 200 et 800 mm (FAO, 1997) ; elles offrent une production de 49,12 millions de quintaux moyennant un rendement de 18,11 qx/ha en 2013 (OAIC, 2013a). Dans les hautes plaines sétifiennes qui sont caractérisées par un climat semi-aride, le système de production largement utilisé ici est basé sur la production des céréales couplées à l'élevage sur une rotation de jachère/céréales (Kribaa *et al.*, 2001). Plusieurs régions semi-arides dans le monde contiennent des sols et des ressources en eau qui sont trop salées pour les cultures économiques les plus communes (Nedjimi, 2009).

La capacité d'un cultivar de bien effectuer raisonnablement dans des précipitations variables et dans un stress en eau est un caractère important pour la stabilité de la production dans les conditions agricoles arides d'Afrique du Nord (Benbelkacem, 1996). Le déficit hydrique, 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). Selon Stewart (1989), dans la zone semi-aride, comme le déficit augmente la pression de la vapeur, l'évapotranspiration maximale augmente, et on exige un niveau supérieur de l'évapotranspiration afin de maintenir un niveau donné de rendement.

Au plan agronomique, il existe d'autres facteurs limitant liés au sol, et au végétal (Lahmar, 1993). Le faible rendement est principalement attribué à des mauvaises propriétés physiques du sol et à une faible fertilité des sols qui pourrait être dérivé à des pratiques culturales inappropriées appliquées depuis plusieurs années (Habtegebrial *et al.*, 2007). Le labour peut augmenter la résistance du sol et réduire l'aération du sol à des niveaux qui sont critiques pour la croissance des racines (Schjønning et Thomsen, 2013).

La plupart des sols agricoles dans les climats secs du bassin méditerranéen aujourd'hui, ont un faible statut de la matière organique à l'origine d'une mauvaise structure globale du sol (Lahmar et Ruellan, 2007). Cela conduit à une augmentation de prise en masse à la surface du sol et donc un risque accru de ruissellement et de l'érosion du sol (Glenn et Welker, 1989 ; Gosai *et al.*, 2009).

Quelle soit irriguée ou pluviale, la céréaliculture algérienne connaît de faibles rendements attribués entre autre à une maîtrise insuffisante de l'un des principaux facteurs de production à savoir la mécanisation des différentes étapes de l'itinéraire technique (Kheyar *et al.*, 2007).

L'agriculture de conservation (CA) a été suggérée comme un système alternatif approprié de gestion des sols pour atteindre une agriculture durable (Hatfield et Karlen, 1994). L'agriculture de conservation (CA) est de plus en plus promue comme un moyen d'adaptation des systèmes de production à des irrégularités dans les précipitations (Ngwira *et al.*, 2014). Les systèmes de l'agriculture de conservation ont une plus grande adaptabilité aux changements climatiques en raison de l'efficacité des pluies à une infiltration plus élevée et donc réduit le ruissellement et l'érosion des sols ainsi qu'une plus grande capacité de rétention de l'eau dans le sol (Kassam *et al.*, 2012).

Le travail du sol de conservation y compris le semis direct et le travail réduit, est une pratique agricole prometteuse pour améliorer la qualité du sol (Wang *et al.*, 2014). Le non labour a été largement proposé comme une bonne pratique pour contrôler la dégradation des sols (Arshad *et al.*, 1999 ; Chan, 2001 ; Liebig *et al.*, 2004). Le labour de conservation est bénéfique pour la durabilité de la production agricole en raison de leurs influences positives sur le sol (Zhang *et al.*, 2014), en plus, la réduction du labour peut potentiellement réduire les apports et les coûts de production tels que l'énergie, et le temps (Osunbitan *et al.*, 2005 ; Ozturk *et al.*, 2006 ; Sessiz *et al.*, 2010). **C'est dans ce contexte que se situe ce travail de thèse en proposant à tenter les possibilités d'amélioration de la production du blé dur (*Triticum durum* Desf.), conduite en deux modes de semis (semis direct et en travail conventionnel) en combinaison avec quatre types de précédents culturaux ; une jachère chimique (pour le semis direct), une jachère travaillée (pour le travail conventionnel), une légumineuse (pois fourrager), et une céréale (blé) ; ainsi que leurs impacts sur les propriétés physico-chimique et hydrique du sol.**

**CHAPITRE I**

**BIBLIOGRAPHIE**

# **Chapitre I. Etude bibliographique**

## **Blé, sol, et Pratiques de conservation**

Un système de culture est « *l'ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles traitées de manière identique* » (Sebillotte, 1990). Ce concept comprend la succession culturale et les itinéraires techniques appliqués à ces différentes cultures. L'étude bibliographique traite de ces systèmes particuliers qui lient le semis direct aux précédents culturaux du blé dur. L'étude bibliographique débouche sur l'énonciation de la problématique de la thèse.

### **1. Le blé dur : exigences et importance**

#### **1.1. Les exigences du blé dur**

##### **1.1.1. Les exigences pédologiques du blé dur**

Les sols qui conviennent mieux à la production du blé dur sont ceux qui sont bien aérés, bien drainés, profonds et comportent au moins 0.5 % de la matière organique, et à intervalle de pH de 5.5 à 7.5 ; le blé dur est sensible à la salinité (Kebede et Belay, 2001). Chez les céréales il existe un lien entre le rendement, la quantité en protéines des grains et la quantité d'azote dans le sol (Machet et Recous, 1995). Parmi les exigences du blé dur en sol, l'azote assimilable est nécessaire pour un bon rendement, une teneur élevée en protéines, un pigment jaune et la dureté de la graine, qui améliorent la qualité et le prix de la culture (Whitmore, 2000).

Soltner (2005) détermine trois caractéristiques pour une bonne terre à blés :

- une texture fine, limono-argileuse, qui assurera aux racines fasciculées du blé une grande surface de contact, et partant une bonne nutrition.
- une structure stable, qui résiste à la dégradation par les pluies d'hiver. Le blé n'y souffrira pas d'asphyxie et la nitrification sera bonne au printemps.
- une bonne profondeur, et une richesse suffisante en colloïdes, afin d'assurer la bonne nutrition nécessaire aux rendements élevés.

### 1.1.2. Les exigences du blé dur en eau

L'eau est le principal facteur limitant la croissance et le remplissage des grains de céréales dans des conditions semi-arides (Fisher, 1981 ; Kassam, 1981 ; Smith et Harris, 1981). Le déficit en eau autour de la floraison peut conduire à une perte de rendement en réduisant le nombre d'épis et le nombre d'épillets et la fertilité des épillets (Giunta *et al.*, 1993).

L'eau du sol dans la zone racinaire souvent ne répond pas aux besoins en eau des cultures sur toute la saison, en particulier dans les mois de printemps où les pluies deviennent moins fréquentes, et où une grande partie de la croissance des cultures se produit (Loss et Siddique, 1994). La période critique en eau se situe 20 jours avant l'épiaison jusqu'à 30 à 35 jours après la floraison (Loue, 1982).

Il n'y a pas de preuve concluante concernant les effets du stress hydrique sur le développement des céréales car il y'a des rapports que le taux de développement est accéléré (Salter et Goode, 1967 ; Doraiswamy et Thompson, 1982 ; Dwyer et Stewart, 1987) différé (Chinoy, 1960 ; Hussain et Aspinall, 1970), ou non affecté (Davidson et Campbell, 1983) par le stress hydrique.

L'évapotranspiration de référence (**ET<sub>o</sub>**) a été estimée à partir des ensembles de données complètes météorologiques avec l'équation FAO Penmann-Monteith (Allen *et al.*, 1998). Les besoins en eau des cultures sont constituées de l'évapotranspiration (ET) de culture (**ET<sub>c</sub>**), ainsi obtenu que le produit **ET<sub>c</sub> = K<sub>c</sub>.ET<sub>o</sub>**. Le coefficient cultural **K<sub>c</sub>**, a été défini pour la phase initiale de croissance, la mi-saison et à la fin de saison (Allen *et al.*, 1998). Zhang et Oweis (1999) ont souligné que l'évapotranspiration dépend de la pluviométrie saisonnière en conditions pluviales et sur le stock combiné de l'eau (irrigation et précipitations) dans des conditions d'irrigation. Caviglia et Sadras (2001) ont montré que la fertilisation azotée augmente l'évapotranspiration des plantes de blé, en dépit de la réduction de l'évaporation du sol.

Les besoins en eau des céréales dépendent des conditions climatiques, de la nature du sol et aussi des stades critiques au déficit hydrique (Boulal *et al.*, 2007). En effet, dans le contexte agropédoclimatique des Hautes Plaines Sétifiennes, la rareté de l'eau à des stades d'exigences de la plante en eau, recommande une attention toute particulière de la gestion de l'eau (Chennafi, 2012).

Smadhi *et al.* (2002), indiquent que les besoins en eau augmentent graduellement, ils sont faibles pendant l'installation de la plante, peuvent s'accroître jusqu'à atteindre un maximum en moyenne au mois de Mai qui sont respectivement de 146 mm à Sétif et de 166 mm à Bordj bou Arrereidj pour la culture de blé. Ces mêmes auteurs ont remarqué également que cette consommation diminue jusqu'au stade fin maturité. Par conséquent, les besoins totaux moyens sont évalués à 516 mm et à 574 mm dans les deux régions.

En effet, l'arrière-saison coïncide avec les exigences les plus importantes, à un moment où l'eau est rare (Kelkouli, 2000 ; Chennafi *et al.*, 2008a). Selon Saadi *et al.*, (2014), l'évapotranspiration de culture saisonnière du blé de printemps variait de 303 mm à 864 mm. Les besoins d'eau correspondant à des bons rendements sont de 450 à 650 mm selon le climat et la longueur du cycle végétatif (FAO, 1987).

### **1.1.3. Les exigences du blé dur en température**

D'après Dajoz (2003), la température est l'élément du climat le plus important étant donné que tous les processus métaboliques en dépendent. Elle dépend de la nébulosité, de la latitude, de l'exposition, de la présence d'une grande masse d'eau du sol, des formations végétales en place (les végétaux amortissant les variations de température) (Faurie *et al.*, 2003). Selon Ramade (2003), la température représente un facteur limitant de toute première importance car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'êtres vivants dans la biosphère. Dans la région méditerranéenne, un changement de direction nord des zones de croissance pour certaines cultures est attendue en réponse à l'augmentation prévue de la température (Bindi *et al.*, 1996 ; Tanasijevic *et al.*, 2014).

La température minimale de la germination des graines du blé est de 3 °C, la floraison ne peut débuter que si la température dépasse 14 °C et est optimale à 16.5 °C. La maturation est optimale autour de 20 °C (Ahmadi *et al.*, 2002). Ces exigences sont variables selon les génotypes, les campagnes agricoles et les caractéristiques environnementales (Araus *et al.*, 2003).

Les irrégularités thermiques, lorsqu'elles sont en déphasage avec les besoins en chaleur du végétal en croissance et durant chacun de ses stades, perturbent le développement de la culture et provoquent l'échaudage par exemple, la température optimale de la croissance du blé ne devant pas excéder les 15 °C (14 °C-16 °C) avec un cumul de croissance avoisinant les

2400 °C (Zouaoui et Bensaid, 2007). Soltner (2005), indique qu'un abaissement de température (vernalisation) pendant l'hiver est nécessaire aux variétés dites d'hiver pour la mise à fleur ; donc un traitement au froid ou vernalisation des graines de variétés non alternatives pendant 30 jours de 0 à 3 °C au début de germination ; leur permet d'épier l'année de leur semis.

Makhlouf *et al.* (2001), situent les exigences en température pour les différents stades de développement du blé de la manière suivante :

- Stade levée : la somme des températures = 120 °C.
- Stade tallage : la somme des températures = 450 °C.
- Stade plein tallage : la somme des températures = 500 °C.
- Stade épi 1 cm : la somme des températures = 600 °C.

Ces sommes de températures ont donc pour intérêt de caractériser les variétés et permettent aux agriculteurs de les choisir en fonction des zones de culture, d'optimiser les dates de semis et les dates de récolte (Charonnat et Deblay, 2013). Le stress thermique et les hautes températures au cours de la période de remplissage du grain, comme cela se produit souvent dans des conditions méditerranéennes, réduit le poids moyen des grains (Oweis *et al.*, 2000 ; Acevedo *et al.*, 2002).

#### **1.1.4. Les exigences en éléments minéraux**

Les besoins de la culture en éléments nutritifs varient selon les potentialités des cultures, l'historique du champ, la séquence des cultures, la date de semis, la saison, l'emplacement, et les conditions de la croissance (Timsina et Connor, 2001).

##### *1.1.4.1. Les besoins en Azote (N)*

L'azote (N) est un élément nutritif majeur influençant le rendement grain et la concentration en protéines (Gauer *et al.*, 1992 ; Ehdaie et Waines, 2001). Le rendement final en grain est directement lié aux besoins en azote de la culture, l'azote obtenu par les plantes est de l'azote résiduel dans le sol, d'azote libéré par la décomposition de la matière organique et des engrais appliqués (Munier *et al.*, 2006). Le blé dur peut exiger des taux plus élevés d'azote, jusqu'à 240 livres par acre (269 kg/ha) (Munier *et al.*, 2006).

Les carences en N provoquent un ralentissement, voire un arrêt de la croissance des plantes, au niveau du feuillage, le symptôme de la carence azotée est la chlorose (Urban et Urban, 2010).

L'efficacité d'utilisation d'azote (EUN) des céréales (par exemple : le rendement en grain par unité de sol et les engrais disponibles (N) est encore très faible, autour de 33 kg N pour la matière sèche pour la plupart des céréales (Raun et Johnson, 1999), allant de 14 à 59 % en blé (Melaj *et al.*, 2003 ; López-Bellido *et al.*, 2005).

Le rendement en matière sèche, dépend de la consommation d'eau et d'azote. Ercoli *et al.*, (2008) et Tilling *et al.* (2007) ont démontré que la réponse de blé à la fertilisation azotée est fortement tributaire de la distribution des précipitations.

Selon Ercoli *et al.* (2013), l'application de 30 kg/ha d'azote avant le semis est recommandée, du moment que la minéralisation de la matière organique du sol ne pouvait pas assurer la disponibilité en azote minéral adéquat pour le développement initial des cultures, où il en résulte une grande réduction dans le nombre de grains par épi. Inversement, 60 kg d'azote par ha avant l'ensemencement pouvant dépasser les besoins des cultures, entraînent une augmentation du lessivage de l'azote lors de l'étape initiale de la culture en plus d'une carence en N au développement des cultures tardives. L'application devrait être compatible avec le stade de développement qui permet encore une absorption rapide d'azote, afin de réduire les possibilités de pertes de N (Raun *et al.*, 2008).

#### *1.1.4.2. Les besoins en Phosphore (P)*

Le phosphore (P) constitue une contrainte majeure à la croissance de la plante dans de nombreux sols (Hinsinger, 2001 ; Raghothama, 1999). Le phosphore affecte le nombre de grain et le rendement en grain du blé (Elliot *et al.*, 1997), et diminue l'accumulation de biomasse dans un mode différent de N (Prystupa *et al.*, 2004 ; Batten, 1992). Reuter *et al.* (1997) ont observé que la déficience en P déprime le tallage, réduit le nombre et la superficie des feuilles par plante. Le phosphore total (P) dans le sol représente approximativement 0.04-0.10 %, de 1.00 à 2.50 % seulement de ce qui peut être absorbé par les plantes (Lin, 1990).

Une remobilisation significative du phosphore (P) au développement des grains se fait à partir des feuilles et des tiges au cours du développement du grain (Papakosta, 1994). La quantité de P remobilisé dépend du génotype, le niveau de P du sol, de l'environnement (sécheresse, la haute température et la salinité), et la densité de la population (Dordas, 2009).

#### 1.1.4.3. Les besoins en Potassium (K)

Le potassium (K) joue un rôle très important dans la santé des plantes, cet élément est repris à partir du sol par les racines sous la forme d'ions de potassium ( $K^+$ ). Une fonction probable du potassium est dans la synthèse de polypeptides dans les ribosomes, puisque ce procédé nécessite une concentration élevée de  $K^+$  (Wyn et Pollard, 1983).

Le potassium est également repris par un taux maximal par rapport à d'autres nutriments essentiels par d'importantes cultures vivrières (Fageria, 2009) *In* (Fageria, 2012). La synthèse de l'amidon ainsi que celle des protéines est également affectée par des carences en K (Epstein, 1972). Selon Charbonnier (2012), les besoins en **N**, **P**, et **K** par quintal produit et par hectare sont les suivants :

- **Azote (N)** : 3.5
- **Phosphore( $P_2O_5$ )** : 1.8
- **Potassium ( $K_2O$ )** : 1.8

## 1.2. Importance de la culture de blé dur

### 1.2.1. Importance de la culture de blé dur dans le monde

Les céréales à pailles et les pommes de terre sont les principaux aliments de base dans le monde (Walter, 1984). L'importance des surfaces consacrées au blé sur la planète dépasse celle de toutes les autres cultures (Bonjean et Picard, 1990).

Le blé dur (*Triticum durum* Desf.) est cultivé sur environ 17 millions d'hectares dans le monde entier (De Vita *et al.*, 2007a). Le blé dur (*Triticum turgidum* L. ssp. *durum*) est une céréale cultivée dans une gamme plus restreinte des régions agricoles, sensiblement dans le bassin méditerranéen qui représente plus de la moitié de la zone de croissance de blé dur dans le monde entier (CIC, 2010).

La production mondiale du blé a connu une augmentation pour la campagne 2013-2014, où elle atteint une valeur de 710 Mt par contre dans la campagne 2012-2013 la production est de 655 Mt (CIC, 2014). La production du blé dur (*Triticum durum* L.) représente 6–8 % de la production totale du blé dans le monde (Troccoli *et al.*, 2000). La production de blé dur des différents pays n'est pas stable, ceci en raison du fait que cette céréale est produite dans des zones et climats très variables, comme le bassin méditerranéen (Royo *et al.*, 2000).

La principale utilisation du blé dur est la production des pâtes, en particulier dans les pays Européens et Nord-Américains, mais dans d'autres pays tels que le Moyen-Orient et en Afrique du Nord, il est également utilisé pour le couscous et différents types de pains (Troccoli *et al.*, 2000 ; Oner, 2002). Le commerce mondial du blé représente entre 18 et 20 % de la production mondiale des céréales contre 3 à 4 % du commerce du riz (Hachette multimédia, 2001).

Les principaux pays exportateurs du blé dur sont : Canada, les Etats-Unis et l'Union Européen (80 % des parts de marchés) le Mexique en sérieux outsider, les principaux pays importateurs sont : l'Algérie, l'Italie et le Maroc (pays méditerranéens : 2/3 des échanges mondiaux) (Crystel, 2014). En Afrique du Nord, le premier importateur est l'Égypte (10 Mt) suivi de l'Algérie (6.5 Mt) et, pour des quantités plus faibles, le Maroc, la Libye et la Tunisie. Leurs importations augmentent régulièrement, en relation avec une production déficitaire et parfois irrégulière, et une population en hausse (Renaud, 2014).

**Tableau I-1:** Les récoltes de blé dans le monde par grandes zones et principaux pays producteurs (blé tendre et blé dur) (millions de tonnes).

<b>Pays</b>	<b>2012-2013</b>	<b>2013-2014</b>
<b>Europe</b>	<b>136.0</b>	<b>146.4</b>
- dont U.E.	131.6	142.2
<b>Ex-URSS</b>	<b>77.2</b>	<b>102.7</b>
- dont Kazakhstan	09.8	13.9
- dont Russie	37.7	52.1
- dont Ukraine	15.8	22.3
<b>Nord et Centre Amérique</b>	<b>92.2</b>	<b>98.9</b>
- dont Canada	27.2	37.5
- dont Etats-Unis	61.8	58.0
<b>Sud Amérique</b>	<b>17.1</b>	<b>19.9</b>
- dont Argentine	8.20	10.0
- dont Brésil	4.40	5.5
<b>Proche Orient</b>	<b>38.6</b>	<b>41.2</b>
- dont Iran	14.0	14.5
- dont Turquie	17.5	18.0
<b>Extrême Orient</b>	<b>247.5</b>	<b>247.6</b>
- dont Chine	120.6	121.9
- dont Inde	94.9	93.5
<b>Afrique</b>	<b>23.4</b>	<b>26.1</b>
- dont Egypte	8.50	8.8
- dont Maroc	3.90	7.0
<b>Océanie</b>	<b>22.9</b>	<b>27.3</b>
- dont Australie	22.5	27.0
<b>TOTAL MONDE</b>	<b>654.9</b>	<b>710.2</b>

(Source : CIC, chiffres du 26/06/2014)

## 1.2.2. Importance de la culture de blé dur en Algérie

En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale (Djermoun, 2009). Les principales espèces utilisées pour la consommation humaine sont *Triticum aestivum* (blé tendre), qui est principalement utilisée pour les produits de boulangerie, et *Triticum durum* Desf. (blé dur) utilisée pour la production des pâtes et de certains pains traditionnels dans le bassin méditerranéen (Peña, 2002).

Les semoules de blé dur contiennent 12 à 13 % d'eau, au moins 12 % de protides, 1.2 % de lipides et moins de 73 % de glucides, principalement sous forme d'amidon mettant en évidence les particularités du blé dur (Vierling, 2008). La denrée alimentaire à base de blé dur fournit 60 % des calories dans la ration alimentaire journalière (Per Pinstrup, 1996). Ces raisons confèrent aux céréales le statut de cultures stratégiques en Algérie (Smadhi *et al.*, 2008).

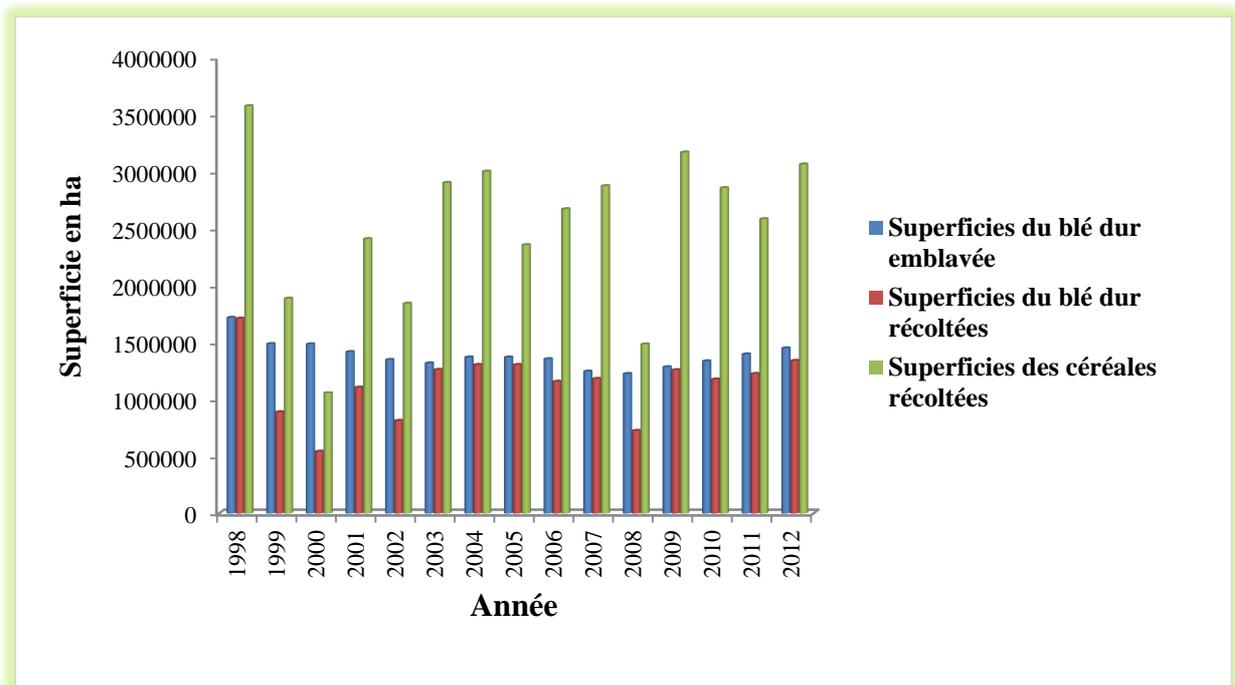
### 1.2.2.1. Les superficies

Le blé dur occupe une place prépondérante de la surface agricole durant la période 1998–2012. Les superficies récoltées consacrées au blé dur ont été estimées en 2012 à 1342881 ha, représentant 43.84 % des superficies récoltées des céréales.

**Tableau I-2:** Superficies emblavées et récoltées pour les céréales et le blé dur en Algérie (U : Ha).

Année	Céréales	Blé dur	
	récoltées	Emblavées	récoltées
1998	3575390	1714720	1707240
1999	1888620	1487960	889090
2000	1057420	1485830	544470
2001	2402410	1419040	1112180
2002	1844910	1350740	813890
2003	2901390	1321580	1265370
2004	3000410	1372495	1307590
2005	2350328	1314949	1042894
2006	2671951	1357987	1162880
2007	2873613	1250617	1187620
2008	1485238	1230314	726105
2009	3176148	1288264	1262842
2010	2856364	1339392	1181774
2011	2584535	1399003	1230414
2012	3063033	1451119	1342881

(Source : MADR, 2012)



(Source : MADR, 2012)

**Figure I-1 :** Superficies emblavées et récoltées pour le blé dur et superficies récoltées des céréales en Algérie.

On remarque que les superficies des céréales fluctuent pendant cette période. Il y a lieu de noter que l'année 1998 a connu la plus grande superficie emblavée et récoltée en blé dur dont la superficie récoltée représente 99.56 % de la superficie emblavée et 47.75 % de la superficie totale récoltée des céréales (Fig. I-1). Ainsi que pendant l'année 2000, la superficie récoltée ne représente que 36.64 % de la superficie emblavée malgré qu'elle représente 51.49 % de la superficie des céréales (Fig. I-1) (MADR, 2012). Cette situation peut être expliquée par la variation des conditions climatiques comme les précipitations, donc nous pouvons confirmer que la culture de blé en Algérie est fortement tributaire des eaux de pluie (Chehat, 2006).

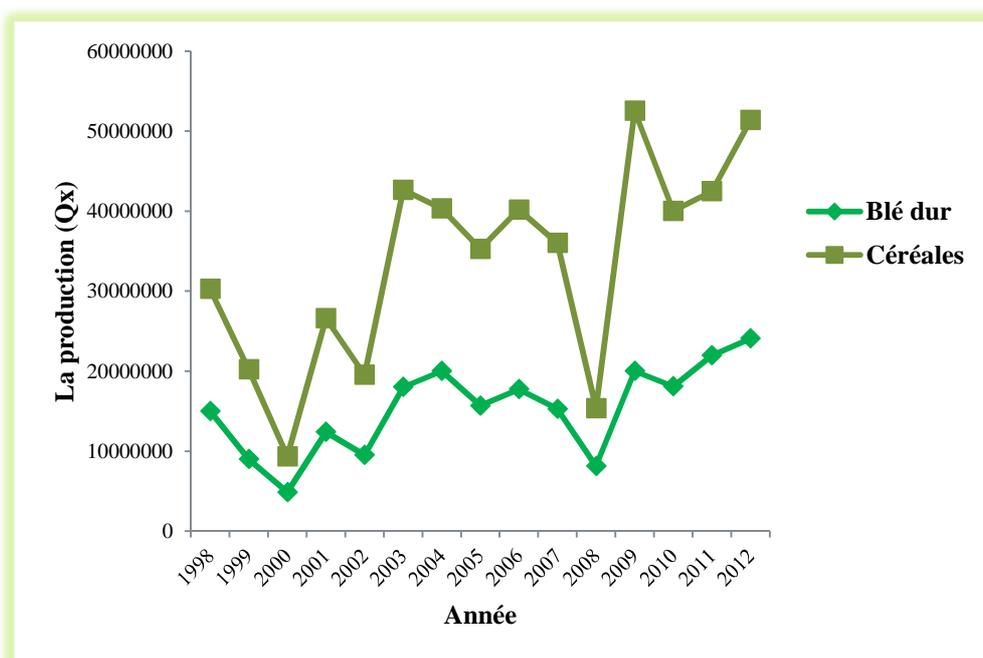
#### 1.2.2.2. La production

La production céréalière en Algérie est extrêmement fluctuante et elle est caractérisée par l'extrême variabilité du volume des récoltes, car elle reste sous l'étroite dépendance des conditions climatiques mais cela démontre aussi, si besoin est, de l'insuffisante maîtrise de cette culture (Djaouti, 2010). Le Tableau suivant représente l'évolution de la production du blé dur et des céréales durant la période 1998-2012.

**Tableau I-3 :** Evolution de la production du blé dur et des céréales en Algérie (U : Qx).

Année	Céréales	Blé dur
1998	30256050	15000000
1999	20205970	9000000
2000	9342190	4863340
2001	26591760	12388650
2002	19529250	9509670
2003	42659620	18022930
2004	40328280	20017000
2005	35274335	15687090
2006	40177450	17728000
2007	36019070	15289985
2008	15356665	8138115
2009	52531502	20010378
2010	40021120	18089739
2011	42472155	21957900
2012	51371533	24071180
<b>moyenne</b>	<b>33475796.7</b>	<b>15606925.8</b>

(Source : MADR, 2012)



(Source : MADR, 2012)

**Figure I-2 :** Evolution de la production du blé dur et des céréales en Algérie (U : Qx).

L'examen de l'évolution de la production du blé dur durant la période 1998-2012 permet de mettre en évidence des fluctuations interannuelles très importantes ; le graphe ci-dessus (Fig. I-2) retrace l'évolution de la production du blé dur qui épouse la même tendance que la

production totale des céréales dont elle représente 46.62 % de cette dernière. Il en résulte une augmentation de la production du blé dur dans les deux dernières années successives 2011 et 2012 (Fig. I-2). La production du blé dur a varié entre 4863340 Qx et 24071180 Qx avec une moyenne de 15606925.8 Qx. On a pu observer que l'année 2012 est la plus productive durant cette période, alors que la plus faible production a été estimée en 2000 (Fig. I-2) (MADR, 2012). Les besoins de l'Algérie en céréales sont estimés à environ 8 millions de tonnes par an (OAIC, 2013b). Ceci place l'Algérie en première position avant l'Égypte et la Tunisie, pays qui connaissent eux aussi une forte pression de la demande alimentaire, notamment celle des céréales (Hervieu, 2006). En Algérie, la consommation des produits céréaliers se situe à un niveau d'environ 205 kg /hab. /an (Chehat, 2007).

La production céréalière est faible par rapport aux besoins du pays qui sont plus élevés, cette situation est due à plusieurs contraintes (BELAID, 1990).

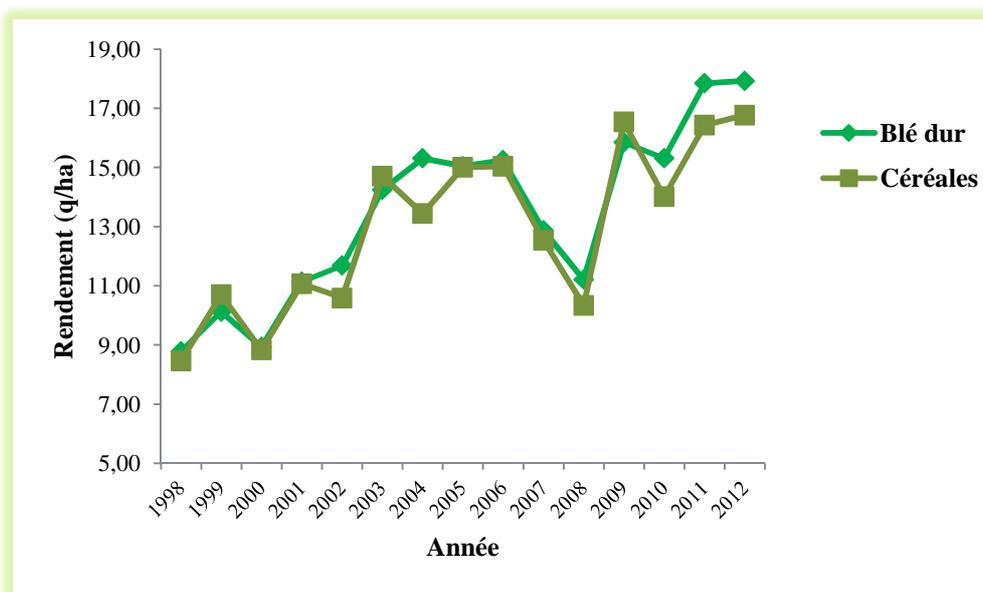
#### *1.2.2.3. Le rendement*

Bien que le calcul du rendement ne prend en compte que les superficies récoltées, on le trouve faible et surtout aléatoire (Kellou, 2010). Le Tableau ci-dessous présente l'évolution du rendement ( $q. ha^{-1}$ ) du blé dur durant la période 1998-2012.

**Tableau I-4 :** Evolution du rendement du blé dur et des céréales en Algérie (q.ha<sup>-1</sup>).

Année	Céréales	Blé dur
1998	8.46	8.79
1999	10.70	10.12
2000	8.83	8.93
2001	11.07	11.14
2002	10.59	11.68
2003	14.70	14.24
2004	13.44	15.31
2005	15.01	15.04
2006	15.04	15.24
2007	12.53	12.87
2008	10.34	11.21
2009	16.54	15.85
2010	14.01	15.31
2011	16.43	17.85
2012	16.77	17.93
<b>moyenne</b>	<b>12.96</b>	<b>13.43</b>

(Source : MADR, 2012)



(Source : MADR, 2012)

**Figure I-3 :** Evolution du rendement du blé dur et des céréales en Algérie (q.ha<sup>-1</sup>).

Durant cette période le rendement oscille entre 8.79 (q. ha<sup>-1</sup>) et 17.93 (q. ha<sup>-1</sup>) à une moyenne de 13.43 (q. ha<sup>-1</sup>) (Fig. I-3). Les rendements du blé dur en Algérie sont très bas, avec de fortes

variations interannuelles. La simplification volontaire des itinéraires techniques se répercutent inévitablement et de manière négative sur le rendement même lorsque les conditions climatiques ont été favorables (Chehat, 2006).

## **2. Agriculture de conservation : alternative de pratiques culturales**

### **2.1. Définition de l'agriculture de conservation**

Le travail du sol est pratiqué pour atteindre certains avantages, telles que le contrôle des mauvaises herbes, brisant des croûtes, augmentant la rugosité de surface, et de préparer un lit de semence approprié pour le type de sol et le climat de la zone (Ozpinar et Cay, 2006).

Cette technique a permis d'augmenter la productivité des cultures mais elle reste une technique consommatrice de temps, de main d'œuvre, de puissance tractrice et d'énergie (Monnier, 1994). Le labour profond excessif dans l'agriculture intensive, a causé d'énormes pertes de carbone organique du sol (Lal, 2004). En outre, le labour conventionnel peut accélérer la minéralisation de la matière organique, de réduire la fertilité des sols, augmenter la consommation d'eau, et de se détériorer les propriétés chimiques et physiques du sol (Chen *et al.*, 2007). Elles sont mises en cause dans les phénomènes d'érosions hydrique et éolienne, la dégradation de la structure des sols et la stagnation voire la baisse des rendements (Bouzerzour *et al.*, 2006). La dégradation du sol a des effets visibles sur l'environnement physique et des conséquences sur les conditions socio-économiques (Harrad *et al.*, 2010).

Il existe plusieurs stratégies pour combattre la dégradation du sol par l'érosion et la compaction, une de ces stratégies est l'agriculture de conservation (Van den Putte *et al.*, 2010). L'agriculture de conservation (AC) a été promue au cours des dernières années comme un procédé de conservation des sols agricoles et leur structure (Hollande, 2004). Ainsi que comme une alternative à l'agriculture conventionnelle qui utilise le labour (Erenstein, 2002 ; Hobbs, 2007 ; Gowing et Palmer, 2008).

Dumanski *et al.*, (2006) définissent l'agriculture de conservation par la gestion intégrée des ressources naturelles avec une production agricole économique et durable, la fourniture de services écosystémiques bénéfiques tels que : la réduction de l'érosion, la réduction de pollution, la fertilité naturelle, la séquestration du carbone, la durabilité et l'augmentation de la production, ainsi que l'amélioration des processus biologiques du sol (Kladivko *et al.*, 1997 ; Blanco-Canqui *et al.*, 2006). Des interventions telle que le travail mécanique du sol sont réduites le plus possible, tandis que les modalités et les quantités retenues pour les apports d'intrants externes, notamment de produits agrochimiques et d'éléments nutritifs minéraux ou organiques, n'entravent ni ne perturbent les processus biologiques (FAO, 2007 *in* OCDE, 2009).

L'AC est un système de culture basé sur trois principes qui combinent l'évitement ou la minimisation de la perturbation du sol avec une couverture permanente du sol par les résidus et des rotation ou association des différentes cultures (FAO, 2002 ; Hobbs, 2007 ; Pisante, 2007 ; Stagnari *et al.*, 2010 ; FAO, 2012a ; Pisante, 2013 ; FAO, 2013). Ces principes sont atteints par le non labour, le zéro labour, le travail du sol minimum, le travail du sol réduit, le semis direct avec paillis (Reicosky et Allmaras, 2003). Toutes ces pratiques sont nommées « le travail du sol de conservation » ou bien « le labour de conservation ».

## **2.2. Les principes de l'agriculture de conservation**

L'un des principes les plus importants de l'agriculture de conservation est d'éviter ou minimiser la perturbation du sol soit par la simplification du travail du sol ou le semis direct. Ces pratiques sont nommées « le travail du sol de conservation » ou bien « le labour de conservation ».

### **2.2.1. Le travail du sol de conservation**

Le labour de conservation est définie par le centre d'information de labour de conservation (CTIC) qu'un n'importe quel système de travail du sol avec couverture du sol de 30 % ou plus par les résidus de cultures, pour réduire l'érosion hydrique des sols (Leye, 2007).

#### **2.2.1.1. Le semis direct**

##### *2.2.1.1.1. Définition et objectif*

Semer directement sans aucune perturbation du sol est le principal pilier de l'agriculture de conservation. Selon Clément (1981) « Lors du semis direct, on enseme la terre sans aucun travail préalable du sol, on fait un seul passage avec un semoir conçu pour préparer lui-même le lit de semence ou avec un semoir couplé à divers outils aratoires ». Le non labour, zéro labour, fente labour sont des termes utilisés pour décrire ce système (Mrabet *et al.*, 2012).

Les pratiques de non labour ont été largement utilisés en substitution avec le labour conventionnel afin de réduire l'érosion du sol et les pertes de la matière organique, améliorer la structure et la fertilité du sol et conserver de l'eau (Schlesinger, 1999 ; Six *et al.*, 2002a), réduire le temps et les coûts requis pour la mise en œuvre de la culture (Trethowan *et al.*, 2012), ainsi que améliorer l'efficacité hydrique et restructurer le sol sous l'effet d'une meilleure activité biologique (Thomas *et al.*, 2009 ; Mrabet, 2000 ; Kribaa *et al.*, 2001).

Le non labour est composé par trois composantes dépendantes : semer directement sans aucun travail du sol ou préparation du lit de semence auparavant ; maintenance des résidus de culture et le contrôle des mauvaises herbes soit par l'application des herbicides ou bien par les rotations de culture (Mrabet *et al.*, 2012). Toute omission ou application défectueuse de l'un de ces principes porte préjudice à la réussite du système de semis direct (Mrabet, 2001a).

#### 2.2.1.1.2. *Le semis direct dans le monde*

L'émergence de l'agriculture de conservation remonte à 1930 lorsque les grandes plaines des USA ont été soumises à une intense érosion éolienne induite par l'agriculture mécanique et qui a causé des dégâts considérables (Friedrich *et al.*, 2011). La commercialisation par ICI en 1960 de deux herbicides desséchants non rémanents totaux de contact (paraquat et diquat) ainsi que la fabrication en 1961, par la firme Allis-Chalmers, du premier semoir pour semis direct en traction motorisée ont considérablement aidé dans l'extension du semis direct (Mrabet, 2001a).

Ces techniques ont rapidement gagné l'Amérique du Sud, notamment le Brésil, l'Argentine et le Chili, ainsi que l'Australie où les risques d'érosion éolienne sont élevés (Köller, 2003). Cette prise de conscience, individuelle ou collective, des processus d'érosion des terres, a été le point de départ du semis direct dans ces différentes régions du monde (Grosclaude *et al.*, 2006).

Le développement du non labour a été déclaré comme une révolution qui a beaucoup influencé l'agriculture à travers le monde (Triplett et Dick, 2008). Il existe de nombreux rapports sur le succès de l'agriculture de conservation dans une large gamme de conditions climatiques (Hobbs *et al.*, 2008 ; Kassam *et al.*, 2009). Selon Delmas (2005), on assiste à un accroissement des surfaces agricoles en AC dans le monde. Les estimations indiquent que les systèmes sans labour sont pratiqués sur plus de 117 millions d'hectares dans le monde entier, dont 48 % en Amérique du Sud (FAO, 2012b).

Selon Lahmar (2008), l'adoption de l'AC en Europe est relativement très faible par rapport aux pays pionniers, La tendance y est toutefois en hausse avec 400 000 hectares en 2001 et 630 000 hectares en 2006 pour la France (Scopel *et al.*, 2013). Dont l'adoption est plus remarquable afin de réduire les coûts de mécanisation et du travail (Lahmar, 2008).

Cette augmentation de l'utilisation de méthodes culturales de conservation est principalement attribuable à l'obligation légale pour les agriculteurs qui sont dans des programmes de soutien des prix du gouvernement d'adopter des plans susceptibles de conservation impliquent le

labour de conservation (Cannell et Hawes, 1994). Ainsi que, le labour de conservation, comme le non labour avec le mulch est très efficace pour diminuer les effets néfastes de l'assèchement du sol et l'érosion éolienne (Wang *et al.*, 2007), réduire les coûts du travail, et améliorer la qualité et la stabilité du sol (DeLaune et Sij, 2012).

#### *2.2.1.1.3. Le semis direct dans les pays du Maghreb*

Les premiers essais du semis direct dans les pays du Maghreb ont été réalisés pendant la période 1970-1980 (Vadon *et al.*, 2006). Cette approche semble avoir été abandonnée par la suite, sauf au niveau d'essais en station menés par l'INRA du Maroc (Vadon *et al.*, 2006).

Les systèmes de production « non labour » suscitent l'intérêt des agriculteurs au Maghreb depuis la fin des années 1990 (Vadon *et al.*, 2006).

Au Maroc la première expérience du système de non labour a été établie en 1983 (Bouzza, 1990). Puis des essais de longue durée sur le semis direct dans des rotations du blé ont été installés à Sidi El-Aydi (Chaouia) et Jemaa shaim (abda) (Bouzza, 1990 ; 1992 ; Mrabet *et al.*, 1993).

Dans les régions nord céréalières tunisiennes, le système du non labour a ensuite été introduit en 1999 (Jemai *et al.*, 2013). Depuis cette date, plus de terres (51 ha en 1999 à 2900 ha en 2005) ont été recadré en utilisant le non labour (Richard, 2007).

En Algérie, un programme de recherche et de développement sur les techniques simplifiées et le semis direct a démarré dès la campagne agricole 2004-2005 dans la zone littorale et dans la zone des hauts plateaux (Zaghouane *et al.*, 2006). L'idée d'introduire ces techniques directement aux niveaux des exploitations, a émergé suite à la soumission d'un projet sur l'efficacité d'utilisation de l'eau dans le cadre INCO-MED, au cours de l'année 2002 (Bouzerzour *et al.*, 2006).

#### *2.2.1.1.4. Perspectives du semis direct en Algérie*

L'agriculture de conservation ouvre de nouvelles perspectives pour concilier un accroissement productif suffisant pour garantir un niveau acceptable de sécurité alimentaire des populations et permettent de préserver l'environnement naturel et d'améliorer ses performances (Chaabane, 2011).

Les techniques simplifiées et le semis direct sous couvert végétal ont fait de grands progrès de part le monde et même dans les pays méditerranéens, mais pas en Algérie (Bouzerzour *et al.*, 2006). D'après Zaghouane *et al.* (2006), le semis direct ne peut se faire que si un programme de recherche adéquat sur le semis direct et orienté vers la diversification des systèmes de

production est mis en place dans les zones de production céréalière. Cependant, la mise en œuvre d'un tel programme nécessite des apports financiers tant pour le programme de recherche que pour le développement (Zaghouane *et al.*, 2006).

#### 2.2.1.1.5. Avantages du semis direct

Le système du non labour peut améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau et le rendement des cultures à la fois (Bonfil *et al.*, 1999). Le système du non labour permet une plus grande stabilité du rendement (Mrabet, 2011). Les résidus de culture accompagnés avec le non labour améliorent quelques paramètres agronomiques de production (le nombre de talles par plante, le nombre de grains par épi, l'indice de récolte et le poids de mille grains) et le rendement grain (Errouissi *et al.*, 2011)

L'objectif essentiel du semis direct est la stabilité ainsi que la durabilité de la production agricole. Dans ce contexte plusieurs recherches ont été réalisées pour voir l'effet du semis direct sur le rendement de la culture comparativement à un labour conventionnel. Abdellaoui *et al.* (2011), montrent que pendant cinq ans d'expérience dans la zone subhumide algérienne, dès la 3<sup>ème</sup> année le semis direct a donné des meilleurs rendements par rapport au travail conventionnel. Mrabet (2000) a trouvé que le semis direct favorise le rendement en grain après quatre ans d'expérience dans des conditions semi arides marocaines.

Le travail du sol intensif peut augmenter la consommation d'énergie et les coûts d'équipement (Mutters *et al.*, 2007 ; Saharawat *et al.*, 2010), par contre les systèmes du travail du sol réduit sont depuis longtemps utilisés pour l'amélioration de la productivité et la durabilité des systèmes de culture, ainsi que pour réduire le temps et les coûts requis pour l'implantation des cultures (Trethowan *et al.*, 2012).

D'après Husson (1997), la suppression totale du labour engendre une réduction de temps du travail mais elle implique cependant une grande disponibilité de la main d'œuvre. Une des principales raisons pour l'intérêt des agriculteurs en semis direct pour la culture du riz, est la hausse du coût de la culture et les bénéfices faibles avec la pratique conventionnelle (Kumar et Ladha, 2011).

#### 2.2.1.1.6. Inconvénients du semis direct

Giller *et al.* (2009) identifient le contrôle des mauvaises herbes comme un obstacle majeur à l'adoption du semis direct en Afrique, en particulier suite au court terme de la mise en œuvre du système, nécessitant un contrôle des mauvaises herbes attentif et l'utilisation des herbicides. Selon El-Brahli et Mrabet (2001), l'abandon de la charrue induit un changement qualitatif et quantitatif de la flore adventice. Cependant, la suppression du travail du sol non seulement élimine une importante méthode de contrôle des mauvaises herbes, mais altère également l'environnement où les mauvaises herbes et les herbicides interagissent (Buhler, 1992) plus les coûts de désherbage.

Abdellaoui *et al.* (2006) montrent que le système du semis direct dans une culture de blé dur favorise le parasitisme, avec un taux d'infestation très élevé par rapport au travail du sol et aussi au semis conventionnel. Il est important de noter qu'il existe un manque de données minimum et de connaissances en termes d'herbicides dans l'environnement (sol, air, eau, et végétation) (Mrabet *et al.*, 2012).

Avec l'adoption du semis direct de nombreux agriculteurs sont concernés que les maladies sont en augmentation en raison d'une augmentation de la quantité des résidus de culture laissés sur la surface du sol (Chen *et al.*, 2005).

L'absence de stratégies de gestion des éléments nutritifs appropriées (Farooq *et al.*, 2011). En outre, le non labour a démontré la stratification des éléments nutritifs, la diminution des rendements et l'augmentation du ruissellement (Holland, 2004 ; Triplett et Dick, 2008), ainsi que la réduction de la concentration de phosphore (P) proche à la surface du sol (Sharpley, 2003 ; Garcia *et al.*, 2007).

Une grande quantité des résidus en surface peut augmenter les pertes d'azote par la volatilisation de l'ammoniac (Griggs *et al.*, 2007). En outre, dans le système conventionnel l'azote peut être incorporé avec le travail du sol qui a été montré pour réduire les pertes (Cao *et al.*, 1984). Ces facteurs peuvent contribuer à réduire l'assimilation d'azote par la culture et la réduction du rendement en semis direct (Kundu et Ladha, 1999 ; Lal, 1986).

La pratique du semis direct peut augmenter la compaction du sol (Blevins et Frye, 1993). Les effets négatifs de la compaction du sol sur la croissance des plantes et les propriétés physiques

du sol dans les autres systèmes ont été rapportés (Sidhu et Duiker, 2006 ; Botta *et al.*, 2007 ; Terminiello *et al.*, 2000).

La réduction nette de la minéralisation et la température du sol basse peuvent conduire à un pauvre établissement des cultures et retarder la croissance des plantes dans les systèmes de labour de conservation (Dam *et al.*, 2005 ; Davis *et al.*, 2005 ; Kravchenko et Thelon, 2007 ; Triplett et Dick, 2008 ; Boomsma *et al.*, 2010), et finalement pour réduire le rendement des cultures (Davis *et al.*, 2005).

C'est un sujet très important d'un point de vue agronomique où l'adoption de la culture sans labour a conduit à des difficultés dans la maniabilité du sol, obligeant les agriculteurs à passer à d'autres systèmes (López-Garrido *et al.*, 2014).

Ces techniques culturales réclament de nouveaux outils et exigent de nouveaux investissements matériels souvent plus coûteux et plus développés que le matériel conventionnel (Chaabane, 2011).

Le système du non labour est une innovation complexe ce qui rend le rôle de l'information, apprentissage et les capacité de gestion plus importants (Rogers, 2003 ; Pannell *et al.*, 2006 ; Liewellyn, 2007).

### **2.2.2. La couverture permanente du sol**

Le maintien des résidus de culture est un élément clé dans les systèmes de labour de conservation car les résidus de culture protègent le sol et réduit l'érosion (Boulal *et al.*, 2011). En agriculture de conservation, 30 % de couverture organique du sol est défini comme un minimum selon des études montrant qu'un sol de 30 % de couverture organique pourrait réduire l'érosion du sol à 80 % (Erenstein, 2002 ; 2003 ; Giller *et al.*, 2009 ; Mazvimavi et Twomlow, 2009), ou au moins à 50 % comparativement aux sols nus (McCarthy *et al.*, 1999). Pour la réussite de la mise en place et la croissance des cultures semées sans labour sur une couverture de paillis dans les systèmes de culture organique, la biomasse minimale nécessaire pour un contrôle suffisant des mauvaises herbes a été trouvé entre 6 et 8 Mg. Ha<sup>-1</sup> (Halde *et al.*, 2013 ; Mirsky *et al.*, 2012).

Les systèmes de travail du sol qui laissent le mulch à la surface du sol, réduisent le ruissellement (Franzluebbers, 2002), augmentent le taux de la matière organique du sol (Franzluebbers, 2002 ; Andruschkewitsch *et al.*, 2013 ; Blanco-Canqui et Lal, 2007 ; Mishra *et al.*, 2010 ; Sainju *et al.*, 2007) qui à leur tour peuvent accroître la séquestration du carbone du sol (Palm *et al.*, 2014) et améliorer la stabilité des agrégats (Franzluebbers, 2002). Blanco-Canqui et Lal (2007), rapportent que l'augmentation de paillage en combinaison avec le non labour a augmenté le taux de la matière organique du sol. Certains auteurs trouvent que dans le travail conventionnel, l'incorporation des résidus de culture dans le sol augmente la teneur en matière organique dans les couches du sol profondes (Baker *et al.*, 2007 ; Blanco-Canqui et Lal, 2007 ; Govaerts *et al.*, 2009).

La couverture végétale du sol peut supprimer les mauvaises herbes par la compétition à l'eau, la lumière et les nutriments (Barnes et Putnam, 1983), les résidus de certaines espèces ont démontré des propriétés allélopatiques qui inhibent la levée et la croissance des plants adventices (Leather, 1983).

Les résidus de culture permettent de créer un système biologique complexe et stabiliser les conditions du microclimat relatives à l'humidité du sol et la température, faisant un meilleur habitat pour la faune du sol (Stinner *et al.*, 1988 ; Winter *et al.*, 1990) en fournissant la nourriture à la faune du sol (House et Parmelee, 1985 ; Wardle, 1995 ; Chan, 2001). Permettent aussi une augmentation de la teneur en eau du sol par réduction de l'évaporation et fournir une source de nutriments aux plantes (Chastin *et al.*, 1995), développer et renforcer la structure de la couche arable par la protection des sols, augmenter l'infiltration (Findeling et Haverkamp, 2000 ; Rao *et al.*, 1998 ; Valentin et Bresson, 1992 ; Zachmann et Linden, 1989) et contrôle les maladies transmises par le sol (Collange *et al.*, 2014). Quand les résidus de culture sont retournés au sol une augmentation de la disponibilité en Phosphore (P) peut se produire en diminuant l'adsorption de P à des surfaces minérales (Ohno et Erich, 1997).

### **2.2.3. La rotation des cultures et assolement**

Pour que le semis direct soit efficace, il faut introduire la rotation des cultures, c'est-à-dire l'utilisation dans le temps et dans l'espace d'une séquence de cultures (Mrabet, 2001a). La rotation culturale modifie la composition des espèces de la communauté des mauvaises herbes (Hyvonen et Salonen, 2002). Alors que la monoculture augmente l'infestation et sélectionne une flore spécialisée (Debaeke, 1990). Selon Douville (2000), plus la rotation est diversifiée plus elle contribuera à combattre les mauvaises herbes.

La rotation des cultures permettait de combattre efficacement l'érosion éolienne en assurant le maintien d'une couverture végétale sur le sol pendant les périodes de jachère et de culture (Greb *et al.*, 1974), ainsi que de réduire les risques d'infestation de maladies et d'insectes (massicotte *et al.*, 2000).

Selon Chouinard *et al.* (2000), la rotation des cultures stimule l'activité biologique des sols, la diversification des cultures favorise la colonisation du sol par les bactéries fixatrices d'azote associées aux légumineuses et par les mycorhizes. Voire, l'augmentation des rendements par l'adoption des rotations dans les systèmes de non labour peut se réaliser seulement à plus long terme (Rusinamhodzi *et al.*, 2011).

D'après les travaux de Bagayoko *et al.* (2000), le niveau de rendement de mil après un précédent niébé est équivalent à celui qui produirait 40 unités fertilisantes d'azote par hectare. Les mêmes études conduites au Niger avec le pois en rotation avec le maïs ont montré une augmentation de 50 % par rapport à une culture pure de maïs (Hullugale et Lal, 1986) ça veut dire que les chaumes d'une légumineuse augmentent la teneur en azote dans le sol tout en favorisant l'accroissement du rendement. Giller *et al.* (2009), recommandent d'introduire les légumineuses pour l'amélioration du cycle d'éléments nutritifs.

La rotation céréale – jachère occupe chaque année près de 80 % de la superficie agricole utile en Algérie, la jachère se justifiait par la lutte contre les adventices, cette lutte était directe et s'effectuait par destruction mécanique répétée, le travail du sol permettant de faire germer et lever les semences d'adventices, donc de réduire le stock enfoui dans le sol (Sebillotte *et al.*, 1993). Le désherbage chimique (accompagné éventuellement d'un travail très superficiel du sol) a eu des effets analogues mais moins intenses (Sebillotte *et al.*, 1993), les jachères sont utilisées pour restaurer la matière organique, les niveaux de nutriments pour les plantes et améliorer les caractéristiques physiques du sol (Nye et Greenland, 1960 ; Lavelle, 1987 ; Roose, 1993).

### **3. Effets du semis direct sur les composantes du milieu cultivé**

En Algérie, un certain nombre des obstacles agronomiques et environnementaux empêchent l'essor de la technique du semis direct, à la base des travaux superficiels. Pourtant, la réduction du travail du sol diminue la consommation d'énergie et accroît la séquestration du carbone (Holland, 2004), sans nuire nécessairement au rendement de la culture (Rasmussen, 1999). Smith (2004) rapporte que la technique du semis direct peut permettre de séquestrer plus de carbone que la technique du labour (jusqu'à  $0,38 \text{ t C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$  de plus en semis direct). En l'absence de travail du sol, la présence de résidus à la surface du sol freine le ruissellement et permet de réduire efficacement les risques d'érosion (Rasmussen, 1999 ; Basic *et al.*, 2004). Le semis direct participe aussi à l'amélioration de certaines caractéristiques de la qualité du sol, à savoir « *sa capacité à fonctionner dans un écosystème particulier pour produire de la biomasse, maintenir la qualité de l'air et de l'eau et assurer la santé des plantes et des animaux* » (SSSA, 2006). Cette définition souligne l'importance de la qualité du sol qui conditionne la production agricole (Rezaei *et al.*, 2005) mais également d'autres fonctions comme l'habitat des espèces telluriques ou le transfert de l'eau et des solutés. La synthèse bibliographique ci-dessous, qui s'appuie lorsque c'est possible sur des synthèses antérieures (en particulier sur les thèmes déjà largement présents dans la littérature internationale), présente les impacts, favorables ou défavorables, de la technique du semis direct sur les composantes biologique, chimique et physique du milieu cultivé.

#### **3.1. Effets du semis direct sur la composante biologique**

##### **3.1.1. Les organismes du sol**

Les microorganismes du sol sont la microflore (*e.g.* les bactéries, les champignons) et la microfaune telluriques (*e.g.* les nématodes, les protozoaires). Les populations de la microflore d'un sol sont fortement perturbées par l'abandon du labour au profit du semis direct (Doran, 1980).

Les modifications des conditions climatiques en semis direct, *i.e.* des écarts de température plus faibles et des teneurs en eau plus élevées (Kladivko, 2001), sont favorables à une augmentation de l'activité et de la biomasse microbiennes dans les premiers centimètres de sol (Roper et Gupta, 1995). Cette augmentation s'observe pour les populations bactériennes comme pour les populations fongiques (Wardle, 1995). Cependant, en semis direct, les

champignons sont dominants dans les cinq premiers centimètres de sol alors qu'en situation labourée, cette zone est dominée par les bactéries (Frey *et al.*, 1999). La colonisation racinaire par les mycorhizes est plus élevée en sol non travaillé qu'en sol labouré (McGonigle *et al.*, 1999 ; Galvez *et al.*, 2001 ; Anken *et al.*, 2004).

Comme peu d'études comparent la biomasse de la microfaune en semis direct et en travail conventionnel, une généralisation des effets du semis direct sur ces populations est hasardeuse (Wardle, 1995). Dans un article de synthèse, Kladivko (2001) rapporte une grande variabilité de réponse de la microfaune au travail du sol ; par exemple, les populations de nématodes peuvent être favorisées ou inhibées après un labour (Wardle, 1995). Cette variabilité s'explique par la dépendance de la microfaune vis-à-vis de nombreuses caractéristiques du milieu cultivé dépendant du travail du sol. Par exemple, le développement de la microfaune est associé (i) aux conditions physiques du sol qui régissent sa motilité (*e.g.* la taille des pores, la présence d'un film d'eau liquide sur la paroi de ces derniers) et, (ii) aux macroorganismes qui s'en nourrissent. Les effets du travail du sol sur les macroorganismes animaux ont été étudiés principalement sur les annélides ou vers de terre pour leurs rôles essentiels dans l'agrosystème (Kladivko, 2001). La quantité de vers de terre augmente fortement dans un sol non travaillé par rapport à un sol travaillé conventionnellement (Jordan *et al.*, 1997 ; Kladivko *et al.*, 1997 ; Tebrügge et Düring, 1999 ; Anken *et al.*, 2004). Cette augmentation s'explique par des conditions climatiques plus favorables, par l'absence de dommages occasionnés aux vers de terre par la charrue et par la présence d'une litière en surface (Shuster et Edwards, 2003). L'écart entre les situations culturales est d'autant plus grand que l'ancienneté du système sans travail du sol est importante (Edwards et Lofty, 1982). Les espèces anéciques sont les plus affectées par le travail du sol : leurs populations croissent considérablement après l'abandon du labour (Kladivko, 2001).

La réduction du travail du sol est souvent bénéfique aux autres macroorganismes tels que les microarthropodes, les insectes supérieurs, les myriapodes (El Titi, 2003b).

### **3.1.2. Les ennemis des cultures**

Les modifications des populations des organismes du sol par la technique du semis direct concernent aussi les ennemis des cultures dont la difficile gestion constitue un frein important au développement de cette technique en climat aride.

Le semis direct favorise le développement des graminées annuelles et des adventices vivaces (El Titi, 2003c ; Murphy *et al.*, 2006), même si ce développement dépend plus des conditions pédoclimatiques et de la succession culturale que du travail du sol (El Titi, 2003c). La plus

grande prolifération des adventices en semis direct peut accroître les charges opérationnelles liées aux herbicides (Debaeke et Orlando, 1994 ; El Titi, 2003c).

### **3.2.Effets du semis direct sur la composante chimique**

#### **3.2.1. Les matières organiques mortes**

Une des raisons qui explique les changements de la composante biologique dans un système de culture sans travail du sol est la présence de ressources nutritionnelles différentes en quantité et en qualité par rapport à un système de culture avec travail du sol. Comparé à un sol labouré, les teneurs en azote et carbone organiques augmentent en semis direct, dans les cinq à dix premiers centimètres de sol (Pekrun *et al.*, 2003). Dans leur synthèse bibliographique, ces derniers auteurs rapportent que dans certaines situations, l'accumulation de matières organiques en surface s'accompagne de leur diminution en profondeur (voir par exemple, McCarty *et al.*, 1998). Cette stratification des matières organiques résulte principalement du maintien d'une quantité élevée de résidus en surface d'un sol non travaillé (Rasmussen, 1999 ; Tebrügge et Düring, 1999). La quantité d'azote labile dans les matières organiques augmente en semis direct (Doran, 1980).

Balesdent *et al.* (2000) mettent en évidence une importante réduction de la vitesse de minéralisation du carbone organique en semis direct par rapport à un sol travaillé. Pour Pekrun *et al.* (2003), c'est plus la dynamique de minéralisation des composés organiques qui est modifiée en semis direct. Par exemple, le pic de minéralisation concomitant au travail du sol n'existe plus ; la composition des microorganismes décomposeurs, dominés par les champignons, favorise l'immobilisation de l'azote au détriment de sa minéralisation (Carter et Rennie, 1987). Malgré tout, la quantité élevée de matières organiques permet de conserver une minéralisation importante en semis direct (Pekrun *et al.*, 2003).

#### **3.2.2. Les éléments minéraux**

Le non retournement du sol en semis direct conduit à un enrichissement en éléments minéraux des premiers centimètres de sol par rapport à une situation avec labour (Follett et Peterson, 1988 ; Edwards *et al.*, 1992). D'un autre côté, en semis direct, les quantités d'éléments minéraux peuvent être réduites en profondeur, notamment le phosphore et le potassium (Pekrun *et al.*, 2003). L'émission de protoxyde d'azote est favorisée dans un sol non travaillé (Six *et al.*, 2002b ; Baggs *et al.*, 2003 ; Liu *et al.*, 2006). D'autre part, si des études rapportent que le lessivage des nitrates peut être réduit lorsque le sol n'est plus travaillé (Power et Peterson, 1998 ; Halvorson *et al.*, 2001), d'autres études concluent qu'il peut être accentué

(Sharpley et Smith, 1994 ; Catt *et al.*, 2000) ou non modifié (McConkey *et al.*, 2002). La même variabilité s'observe pour le transfert des herbicides en profondeur : en semis direct, les pertes d'herbicides peuvent être réduites (Tebrügge et Düring, 1999) ou augmentées (Holland, 2004) par rapport à un sol travaillé. En fait, ces contradictions sur le comportement des polluants s'expliquent par le fait que l'absence de travail du sol joue sur des phénomènes qui réduisent le risque de pollution (*e.g.* l'augmentation de la quantité de matières organiques en semis direct accroît l'adsorption de la plupart des pesticides) et sur d'autres qui l'accroissent (*e.g.* les écoulements préférentiels peuvent augmenter en semis direct). La balance entre les deux dépend étroitement des conditions expérimentales telles que le type de sol, la topographie ou le régime des précipitations (Barriuso *et al.*, 1994).

### **3.3.Effets du semis direct sur la composante physique**

En modifiant la structure du sol, le semis direct affecte la qualité du sol (Dexter, 1997), particulièrement la circulation de l'air et de l'eau, la pénétration des racines dans le sol et l'accessibilité des nutriments aux végétaux.

#### **3.3.1. Structure et propriétés hydriques d'un sol non travaillé**

La stabilité des agrégats est corrélée à la quantité de carbone organique présent dans le sol (Stengel *et al.*, 1984). Comme cette quantité augmente sensiblement en semis direct, les agrégats sont plus stables dans cette situation culturale (Angers *et al.*, 1993 ; Suwardji et Eberbach, 1998 ; Hernánz *et al.*, 2002 ; Saber et Mrabet, 2002a ; Sasal *et al.*, 2006).

Si la stabilité des agrégats est accrue en semis direct, **l'absence de travail du sol conduit, en revanche, à une diminution de la porosité de l'horizon de surface par rapport à un sol travaillé conventionnellement** ; de nombreuses études réalisées dans des conditions pédoclimatiques variées concluent à une augmentation de la densité apparente en semis direct, dans les cinq à dix premiers centimètres de sol (Ehlers *et al.*, 1983 ; Hammel, 1989 ; Hill, 1990 ; Grant et Lafond, 1993 ; Rhoton *et al.*, 1993 ; Unger et Jones, 1998 ; Lampurlanés et Cantero- Martínez, 2003 ; Basic *et al.*, 2004). Généralement, une conséquence de la compaction du sol en semis direct est la pénétration plus difficile des racines dans le sol (Ehlers *et al.*, 1983 ; Hammel, 1989 ; Hill, 1990 ; Grant et Lafond, 1993 ; Ferreras *et al.*, 2000). Tebrügge et Düring (1999) montrent que l'écart de densité apparente entre un sol labouré et un sol non travaillé est maximal après le passage de la charrue ; l'écart décroît au cours de la saison de culture.

Dans les premiers centimètres de sol, la distribution de la taille des pores est modifiée en l'absence de travail du sol. **La mésoporosité et/ou la macroporosité diminuent dans un sol en semis direct par rapport à un sol labouré** (Hill, 1990 ; Pierce *et al.*, 1994 ; Hussain *et al.*, 1998 ; Ferreras *et al.*, 2000) ; l'écart entre les deux situations culturales est particulièrement marqué après le travail du sol (Pierce *et al.*, 1994). De manière analogue, Guérif (1994) montre qu'en semis direct, les pores structuraux sont moins nombreux, situés en surface et plus continus. Une meilleure continuité des pores en semis direct est aussi observée par Heard *et al.* (1988) et Azooz et Arshad (1996). **Concernant la microporosité, des études rapportent qu'elle est plus élevée en l'absence de travail du sol** (Pierce *et al.*, 1994 ; Azooz et Arshad, 1996 ; Bhattacharyya *et al.*, 2006). Après l'arrêt du labour, la proportion de pores créés par l'activité biologique, *i.e.* les biopores longs et cylindriques, diminue fortement puis augmente au cours du temps (Shipitalo et Protz, 1987 ; Vanden Bygaart *et al.*, 1999a). Le réseau poral qu'ils définissent présente souvent une continuité élevée (Blevins *et al.*, 1983) ; ces pores participent activement à la pénétration des racines et aux mouvements de l'eau dans le sol (Dexter, 1991).

Du volume et de la morphologie de l'espace poral dépendent les propriétés hydriques du sol *i.e.* le stockage et la circulation de l'eau (Pachepsky et 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 et Jones, 2002 ; Bhattacharyya *et al.*, 2006) 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 ; Guérif, 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 ; Lampurlanés et Cantero-Martínez, 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 macropores 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 biopores formés pendant le cycle cultural précédent (Logsdon *et al.*, 1993). A l'inverse, la réduction du nombre de méso- et macropores 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. Agents structurants en semis direct

La structure d'un sol évolue continuellement, alternant les phases de formation, de stabilisation et de dégradation. La formation de la structure du sol résulte principalement de perturbations physiques d'origine anthropique ou climatique (Oades, 1993 ; El Titi, 2003a). Les pores créés par la micro-, méso- et macroporosité représentent les pores dont le rayon équivalent est, respectivement, inférieur à cinq micromètres, compris entre cinq et 500 micromètres et supérieur à 500 micromètres (Luxmoore, 1981). La porosité hydrauliquement active est constituée par une fraction des méso- et macropores du sol.

Ces perturbations sont généralement allongées ; ce sont les fissures. L'activité biologique des organismes du sol participe aussi à la formation de la structure mais joue surtout un rôle majeur dans sa stabilisation (Young *et al.*, 1998). La dégradation de la structure résulte quant à elle de l'action de l'homme ou du climat (Young *et al.*, 1998).

Selon les systèmes de culture, les diverses activités impliquées dans l'évolution de la structure du sol n'interviennent pas avec la même importance, la même intensité et le même pas de temps. **En semis direct, les activités biologique et climatique sont au cœur des processus d'évolution de la structure**, les interventions humaines se limitant aux passages d'engins agricoles, aux apports d'éléments fertilisants et aux amendements organiques.

Comment les activités anthropique, biologique et climatique agissent-elles sur l'évolution de la structure d'un sol non travaillé ?

#### *Rôle de l'activité anthropique dans l'évolution de la structure du sol en semis direct*

Les apports d'éléments minéraux et/ou organiques par épandages divers de fertilisants, de fumiers, etc. améliorent l'agrégation (Haynes et Naidu, 1998). Les apports, minéraux et organiques, peuvent aussi favoriser l'activité des organismes vivants capables d'actions chimique et/ou physique sur la structure (Oades, 1993). **Le choix de la culture commerciale, de la gestion de la période d'interculture (e.g. l'implantation d'une culture intermédiaire) ou de la présence d'un couvert végétal pérenne participent à l'évolution de la structure du sol par le système racinaire des plantes.** Le passage d'engins agricoles dégrade la structure : il entraîne un tassement localisé qui est fonction de la pression exercée,

du temps d'application, de l'humidité du sol et de l'état de compacité initial (Richard *et al.*, 1999).

#### *Rôle de l'activité climatique dans l'évolution de la structure du sol en semis direct*

Les phénomènes climatiques tels que les alternances des cycles humectation-dessiccation ou gel-dégel fragmentent le sol (Oades, 1993) ; les caractéristiques du réseau fissural qui en résulte dépendent de l'interaction entre le microclimat du sol (température, humidité) et sa composition granulométrique et minéralogique (Hallaire, 1988). La structure à la surface de certains sols (*e.g.* les sols limoneux) peut se dégrader sous l'action des pluies. De ce phénomène résulte la formation d'une croûte superficielle ou croûte de battance (Valentin et Bresson, 1992), plus ou moins imperméable aux transferts d'eau. Le taux de couverture du sol par les plantes peut ralentir les gouttes de pluie en les interceptant et peut diminuer ainsi leur impact négatif sur le sol (Le Bissonnais, 1988). **La présence d'un couvert végétal permanent, mort ou vivant, peut réduire les effets néfastes des gouttes de pluie sur le sol.**

#### *Rôle de l'activité biologique dans l'évolution de la structure du sol en semis direct*

##### *Les microorganismes.*

Les microorganismes, essentiellement la microflore, décomposent les matières organiques du sol ce qui favorise la formation d'agrégats stables par la sécrétion de polysaccharides extracellulaires (Roper et Gupta, 1995). Ces molécules lient durablement les particules primaires du sol entre elles (Doriz *et al.*, 1993 ; Oades, 1993). Les hyphes fongiques peuvent aussi former un véritable réseau de liens capables de maintenir mécaniquement les agrégats entre eux (Oades, 1993) ; l'agrégation tend à augmenter avec la densité des hyphes (Haynes et Beare, 1997). Certains auteurs suggèrent que l'augmentation de la formation d'agrégats stables en semis direct est directement liée à l'accroissement des populations de microorganismes du sol dans cette situation culturale (Roper et Gupta, 1995).

##### *Les vers de terre.*

Les macroorganismes animaux qui participent à l'évolution de la structure du sol se classent dans le groupe fonctionnel des « *ingénieurs de l'écosystème* », essentiellement représentés par les vers de terre (Lee et Foster, 1991 ; Lavelle, 1997).

Les vers de terre épigés participent peu à la formation et à la stabilisation de la structure contrairement aux vers de terre anéciques et endogés (Lee et Foster, 1991). Les vers de terre anéciques développent un réseau de galeries subhorizontales et subverticales (Lavelle, 1997). Pour les vers de terre endogés, géophages, les galeries sont pour la plupart subhorizontales, remplies de turricules (Lavelle, 1997), avec parfois des composantes verticales ouvertes vers la surface (Kay, 1990). Les vers de terre se retrouvent essentiellement dans les 20 premiers centimètres de sol mais certains descendent jusqu' à 50 centimètres de profondeur (Lavelle, 1997). Certains auteurs montrent que la création des galeries peut s'accompagner d'une légère compaction du sol dans la drilosphère, compaction née de la pression exercée par les animaux lorsqu'ils creusent (McKenzie et Dexter, 1988a ; McKenzie et Dexter, 1988b). Le diamètre des galeries varie avec la taille du ver de terre (Lavelle, 1997). Généralement elles mesurent de un à dix millimètres de diamètre (certaines atteignent 30 millimètres), constituant ainsi les pores les plus larges du sol (Lavelle, 1997) qui participent efficacement à l'aération du sol et au transport de l'eau et des solutés (Fragoso *et al.*, 1997). Les vers de terre sont aussi capables d'enfouir les résidus végétaux et de les fractionner en unités plus petites qui peuvent être décomposées par les microorganismes (Roper et Gupta, 1995). De plus, lors de leurs déplacements, les vers de terre géophages ingèrent des particules de sol qu'ils mélangent dans leur intestin avec des résidus organiques comme les polysaccharides ; les turricules excrétés sont des agrégats stables (Six *et al.*, 2004). Comparé à un sol travaillé, l'augmentation des populations de vers de terre constatée en semis direct peut effectivement s'accompagner d'une augmentation du nombre de biopores (Tebrügge et Düring, 1999 ; McGarry *et al.*, 2000 ; Tan *et al.*, 2002) et de la quantité de turricules dans l'horizon superficiel (Vanden Bygaart *et al.*, 1999a).

#### *Les racines.*

Les végétaux supérieurs agissent sur la structure par l'action de leurs racines et par l'apport de matières organiques au sol, sources de carbone pour les microorganismes (Angers et Caron, 1998). Au cours du développement racinaire, un biopore est produit lorsqu'une racine pénètre soit dans un milieu sans macrostructure préexistante (Dexter, 1991), soit dans un pore originel plus petit que le diamètre de la racine (Kay, 1990). Au voisinage de ce biopore la porosité diminue du fait de la pression exercée par la racine en expansion (Kay, 1990 ; Dexter, 1991). Après décomposition de la racine et comme le sol n'est pas perturbé, le biopore demeure et participe à la fois aux transferts d'eau et de solutés, à l'aération du sol et au développement des racines de la culture suivante (Jakobsen et Dexter, 1988 ; Kay, 1990 ; Dexter, 1991 ;

Oades, 1993). Le prélèvement d'eau par les racines dessèche le sol à proximité ce qui crée des zones de fissuration par l'alternance des cycles humectation-dessiccation (Angers et Caron, 1998). Comme les turricules sont des boulettes fécales, la drilosphère est la couche de sol d'épaisseur un à deux millimètres entourant une galerie.

Les hyphes fongiques, les racines lient les agrégats entre eux (Young *et al.*, 1998). Les exsudats racinaires constituent un ciment qui stabilise les agrégats (Angers et Caron, 1998) : les agrégats les plus stables sont dans la rhizosphère (Bronick et Lal, 2005).

La forme du système racinaire varie en fonction du milieu et des espèces végétales. Par exemple, chez les monocotylédones il est souvent fasciculé alors que chez les dicotylédones il s'organise autour d'une racine pivot (Russell, 1977). Ces diverses architectures racinaires entraînent des variations dans la capacité des racines à pénétrer dans les pores et les agrégats pour explorer un volume de sol à la recherche d'eau et de nutriments (Whittington, 1968 ; Russell, 1977 ; Reid et Goss, 1981 ; Oades, 1993 ; Six *et al.*, 2004 ; Bronick et Lal, 2005). Ainsi, l'agrégation tend à augmenter avec la longueur spécifique *i.e.* la longueur de racine par unité de biomasse racinaire (Bronick et Lal, 2005). De plus, les plantes n'ont pas toutes la même capacité à produire des exsudats ou à interagir avec les organismes du sol ce qui modifie leurs effets sur la stabilisation des agrégats (Reid et Goss, 1981 ; Oades, 1993 ; Six *et al.*, 2004 ; Bronick et Lal, 2005). Par exemple, la quantité d'exsudats produite par les racines du maïs (*Zea mays* L.) est inférieure à celle produite par le blé (*Triticum aestivum* L.) (Hütsch *et al.*, 2002) ; les exsudats du lupin (*Lupinus augustifolius* cv. Feste) stimulent plus la croissance des champignons que ceux du blé (Haynes et Beare, 1997). **L'activité structurante des racines dépend de l'espèce présente sur la parcelle agricole.**

D'un autre côté, l'augmentation de la densité apparente dans les premiers centimètres d'un sol non travaillé peut réduire le développement des racines en surface (Rasmussen, 1999).

# **CHAPITRE II**

## **MATERIELS ET METHODES**

## Chapitre II. Matériels et Méthodes

### 1. Description du site expérimental

L'étude a été réalisée dans la ferme de la production des semences Agricole de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) de Sétif au cours de la campagne 2013-2014. Le site expérimental, au lieu dit **R'mada**, situé à 8 km au sud-ouest de la ville de Sétif, lié administrativement à la commune de Mezloug, Daïra de Ain Arnat, aux coordonnées géographiques 36° 08' N, 5°20' E, à une altitude de 962 m.

L'essai de semis direct a été installé depuis la campagne 2008-2009, dont l'objectif est de voir l'impact du semis direct sur les propriétés physiques du sol et sur la culture de blé dur en le comparant avec un travail du sol conventionnel.

La zone d'étude, appartenant à l'étage bioclimatique semi-aride, se caractérise par des hivers froids et des étés secs (Chennafi et Saci, 2012). La pluviométrie et les températures y accusent de grandes variations intra et inter-annuelles (Bouzerzour *et al.*, 2002). Le sol de la région est un sol calcique, avec une texture fine (38.4 % d'argile, 42.7 % de limon, et 18.7 % de sable) (Kribaa *et al.*, 2001) et se caractérise par une faible teneur en matière organique (Chennafi *et al.*, 2008b).

### 2. Matériel végétal

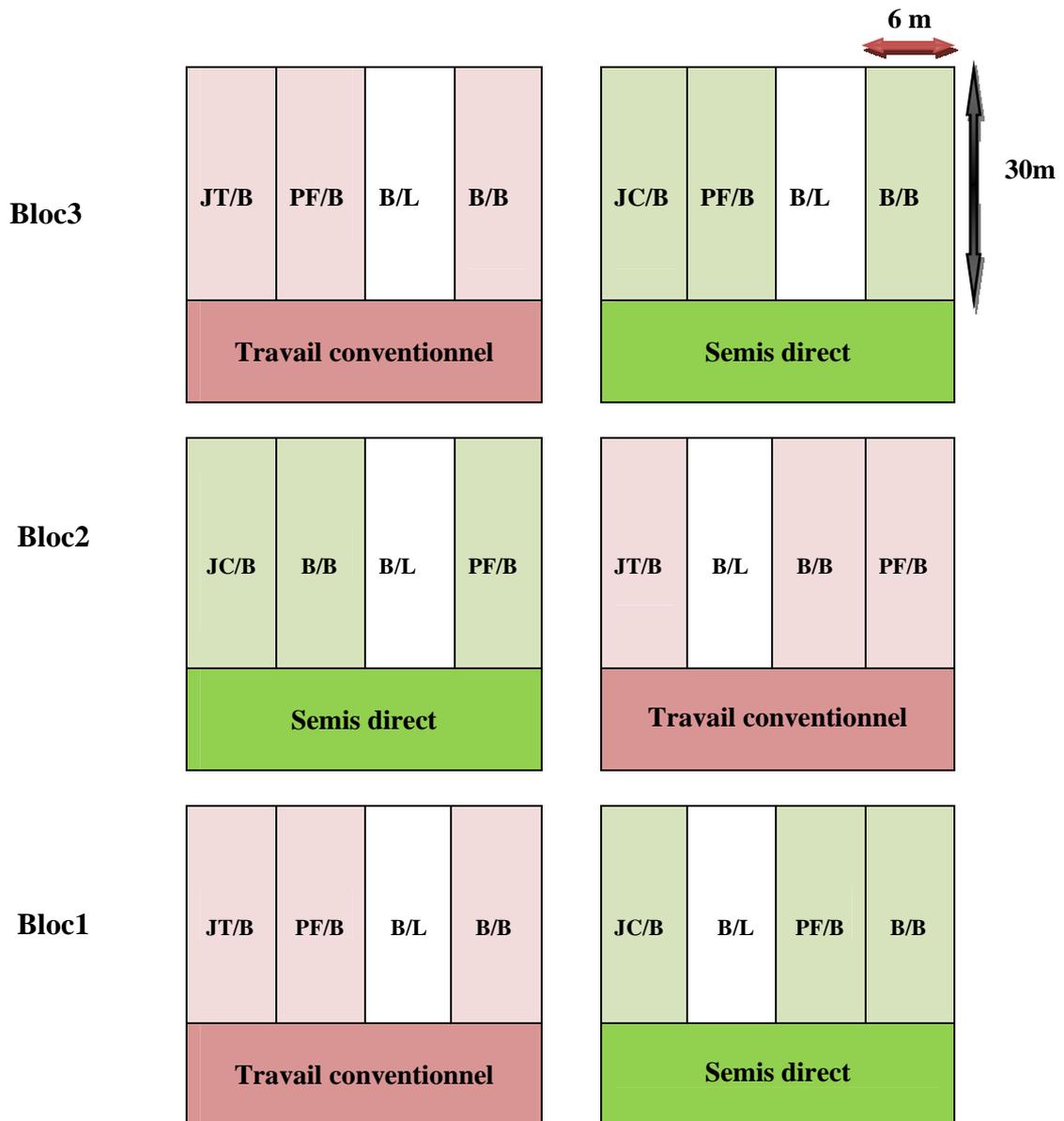
La variété de blé dur **Boussellem** dont le pedigree est HEIDER/MARTE//HUEVO DE ORO ICD86-0414-ABL-OTR-4 AP-OTR-14AP-OTR a été utilisée comme matériel végétal. Cette variété a été sélectionnée par la Station Expérimentale Agricole de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) de Sétif dont l'origine est d'ICARDA-CIMMYT (Boufenar-Zaghouane et Zaghouane, 2006). Elle présente un cycle végétatif tardif de 5 jours en moyenne par rapport à la variété Waha, et précoce de 15 jours en moyenne par rapport à la variété Mohamed Ben Bachir (Annichiarico *et al.*, 2005). Elle montre aussi une performance de rendement plus élevée que celles de Waha et Mohamed Ben Bachir, qui sont toutes les trois largement cultivées dans la région de Sétif (Annichiarico *et al.*, 2005).

### *Caractères morphologiques de la variété de blé dur Boussellem :*

- **Port au tallage** : demi dressé.
- **Précocité épiai** : intermédiaire.
- **Glaucescence** : glauque.
- **Hauteur de paille** : 95 cm.
- **Section paille** : demi-pleine.
- **Couleur épi** : blanc jaunâtre pigmenté.
- **Epi forme** : pyramidale.
- **Epi compacité** : lâche.
- **Barbe** : noire panachée.
- **Grain forme** : ovoïde légèrement allongée.

### **3. Traitements et dispositif expérimental**

Le dispositif expérimental adopté est un split plot avec deux facteurs étudiés. Il est constitué de trois blocs chacun subdivisé en deux parcelles, portant chacune un système de travail du sol (système conventionnel et le semis direct) (facteur 01). La parcelle est partagée en quatre sous-parcelles élémentaires (trois pour le blé dur et une pour la lentille). Ces dernières représentent les précédents culturaux : pois fourrager, blé, jachère travaillée pour le semis conventionnel, et jachère chimique pour le semis direct (facteur 02). Le total des parcelles élémentaires s'élève à 24 (18 pour le blé dur et 6 pour la lentille) dans cette expérimentation nous sommes concernés par les parcelles de blé dur. L'objectif de notre étude est de voir le comportement de la culture de blé dur et du sol sous es deux techniques culturales en combinaison avec les précédents culturaux.



**Figure II-1** : Schéma du dispositif expérimental.

- **PF** : pois fourrager grains
  - **B** : blé
  - **JT** : jachère travaillée
  - **JC** : jachère chimique
- La superficie de la parcelle élémentaire = 6m x30m = 180m<sup>2</sup>.
  - La superficie de la grande parcelle = 24m x30m = 720 m<sup>2</sup>.
  - **Superficie de la parcelle d'essai = 4320 m<sup>2</sup>** sans les allées.

Le semis a été réalisé le 12 Décembre 2013 avec une dose de semis de 130 kg. ha<sup>-1</sup> à l'aide d'un semoir classique pour le travail conventionnel (conventionam) et avec un

semoir spécial de marque SEMEATO-PERSONALE DRILL 17 conçu pour le semis direct.



**Figure II-2 :** Photo du semoir de semis direct.

La fertilisation a été faite par un engrais de fond TSP (100 kg/ha) au semis, et une autre fertilisation a été exécutée au printemps par le sulfazote (100 kg/ha) (26 unité).

La lutte chimique contre les mauvaises herbes a été réalisée en deux temps : le premier en pré-semis, par l'utilisation d'un désherbant total ; le GLYFOS qui contient 360 g/L de Glyphosate acide, ajouté à l'eau acidulée (pH bouillie égal à 5.5) dont la dose de désherbage était 2.5 L/ha (11/12/2013). Le deuxième traitement a été réalisé avec un désherbant Pallas anti monocotylédones et dicotylédones (0.5 L/ha) et un adjuvant Li700 (20/04/2014).

## **4. Notations**

### **4.1. Les Paramètres liés au sol**

Pour les paramètres liés au sol c'est la profondeur (10-20 cm) qui nous intéresse qui correspond à l'horizon H<sub>5</sub> dans le profil cultural qui est un horizon labouré non repris.

#### **4.1.1. L'humidité du sol**

La méthode du double pesé (gravimétrique) a été utilisée pour mesurer l'humidité du sol. La teneur en eau du sol a été déterminée à partir de prélèvements réalisés à la tarière pédologique, dans chaque parcelle élémentaire de chaque traitement, les échantillons sont

prélevés dans quatre points de chaque parcelle élémentaire, chacun des prélèvements est réalisé dans trois profondeurs : de 0 à 10 cm, de 10 à 20 cm et de 20 à 30 cm. Chaque échantillon a été gardé au frais lors du prélèvement, puis pesé après sa mise en boîtes métalliques tarées préalablement et mis à l'étuve à son arrivée au laboratoire de L'ITGC de Sétif avec une balance de précision marque METLLER (105°C pendant 24 heures). Une fois secs, les échantillons ont été pesés à nouveau, la teneur en eau pondérale a été déterminée selon la formule décrite par Duchaufour (1997) comme suit :

$$H\% = 100 (PF-PS)/PS$$

*H %* étant la teneur en eau pondérale, *PF* étant le poids frais du sol (g), et *PS* étant le poids sec (g). Ces mesures ont été réalisés depuis le mois de février jusqu'à la récolte de blé (en un intervalle de 15 jours).

#### 4.1.2. La densité apparente

La densité apparente a été déterminée par la méthode de prélèvement par cylindre (Taboada *et al.*, 1998) en l'enfonçant de façon mécanique à la surface du sol (0-10 cm), puis le dégageant en creusant autour et on fait la même chose pour les deux autres profondeurs (10-20cm) et (20-30 cm), le cylindre avait un volume de 251.51 cm<sup>3</sup>. Trois prélèvements ont été réalisés dans chaque micro parcelle de chaque traitement.

On a déterminé le poids du sol contenu dans chaque cylindre. Après avoir séché les échantillons à l'étuve (105 °C pendant 24 heures). Le calcul de la densité apparente est déterminé à partir de la formule de Yoro et Godo (1990).

$$Da = P(g)/V (cm^3)$$

*P* étant le poids du sol (g), *V* volume du cylindre (cm<sup>3</sup>) et *Da* la densité apparente (g.cm<sup>-3</sup>). Le prélèvement de la densité apparente a été réalisé le 6 Juin 2014.

#### 4.1.3. La résistance pénétrométrique

La mesure de la résistance pénétrométrique (*Rp*) est réalisée à l'aide d'un pénétromètre dont la manipulation a consisté à faire enfoncer le cône du pénétromètre dans le sol et à mesurer

l'effort à appliquer dans les trois profondeurs (0-10 cm), (10-20 cm), et (20-30 cm). Trois mesures ont été réalisées dans chaque micro parcelle à partir des enregistrements affichés à la surface de la base du cône on obtient la lecture du manomètre. A l'aide de la formule ci-dessous, nous obtenons la valeur de la compacité.

**Résistance pénétrométrique = la lecture de manomètre/la surface de la base du cône**

#### **4.1.4. La conductivité hydraulique proche de la saturation**

Les capacités d'infiltration en régime permanent sont mesurées à un potentiel  $h$ : -0,06 kPa avec un infiltromètre à disque de 80 mm de diamètre, dont le fonctionnement est décrit par Ankeny *et al.* (1990, 1991) et Coquet *et al.* (2000). Le disque de l'infiltromètre est positionné sur une surface non perturbée couverte d'une fine couche de sable fin dans la parcelle. Les flux sont mesurés à partir de  $h = - 0.06$  kPa et pendant au moins une heure pour atteindre le régime permanent. La courbe de conductivité hydraulique en fonction du potentiel matriciel  $K(h)$  est estimée avec la méthode monodisque multipotentiel développée par Reynolds et Elrick (1991) et Ankeny *et al.* (1991) (Wooding, 1968).

#### **4.1.5. Le taux de la matière organique (carbone organique)**

Le taux de la matière organique est déterminé par la méthode Anne, le carbone organique est oxydé par du bichromates de potassium ( $K_2Cr_2O_7$ ) en milieu acide. La quantité réduite est proportionnelle à la teneur en carbone organique. L'excès de bichromates de potassium est titré par une solution de sel de MOHR, en présence de Diphénylamine. La formule de la teneur en matière organique est comme suit :

$$\text{MO\%} = \text{C\%} \times 1.72$$

- ❖ **C%** : le pourcentage du carbone oxydé.
- ❖ **MO%** : le pourcentage de la matière organique.

## **4.2. Les paramètres liés à la végétation**

### **4.2.1. Les caractères agronomiques**

#### ***4.2.1.1. Le peuplement à la levée***

Le nombre de plants levés est estimé à partir du comptage de plants levés par mètre linéaire, ce dernier est rapporté au m<sup>2</sup>. On a fait quatre répétitions dans chaque parcelle élémentaire. Ceci est réalisé à 59 JAS.

#### ***4.2.1.2. Le nombre de talles***

Le nombre de talles émises est estimé à partir du comptage de nombre de talles émises par mètre linéaire, ce dernier est rapporté au m<sup>2</sup>. On a fait quatre répétitions dans chaque parcelle élémentaire. Ceci est réalisé à 106 JAS.

#### ***4.2.1.3. Le nombre d'épis (NE)***

Le nombre d'épis est déterminé par le comptage de nombre des épis par mètre linéaire, ce dernier est ensuite rapporté au m<sup>2</sup>. On a fait quatre répétitions dans chaque parcelle élémentaire. Ceci est réalisé au stade épiaison et à la maturité.

#### ***4.2.1.4. La hauteur des plantes (HT, en cm)***

La hauteur représente la distance allant du ras du sol jusqu'à sommet de l'épi. À maturité, la hauteur moyenne de cinq plantes (Ht, cm) de chaque répétition a été mesurée en centimètre à l'aide d'une règle graduée, à raison de quatre répétitions dans chaque micro parcelle.

#### ***4.2.1.5. La longueur de l'épi***

Au stade maturité, la longueur de l'épi a été mesuré à partir de la base d'épi jusqu'à son extrémité, les barbes ne sont pas incluses.

### **4.2.2. Les caractères morpho-physiologiques**

#### ***4.2.2.1. La teneur relative en eau (TRE %)***

La teneur relative en eau (TRE %) est déterminée sur la feuille étandard par la méthode décrite par Serrieys (1992). Un échantillon de cinq feuilles qui sont coupées à la base du limbe et pesées immédiatement à l'aide d'une balance de précision pour avoir le poids frais (PF). Les échantillons sont prélevés dans quatre sites de chaque parcelle élémentaire. Les feuilles sont mises par la suite dans des tubes à essai contenant de l'eau distillée et placées à l'obscurité, après 4 heures, les feuilles sont pesées de nouveau, après avoir pris soin de les essuyer de l'eau restante à la surface avec du papier buvard pour obtenir le poids turgide (PT), les feuilles sont enfin mises à l'étuve à 85 °C pendant 48 h et pesées pour avoir leur poids sec (PS).

La teneur relative en eau est calculée par la formule de Matin *et al.*, (1989) comme suit :

$$\text{TRE (\%)} = [(\text{PF-PS}) / (\text{PT- PS})].100\%$$

#### **4.2.2.2. La teneur en chlorophylle**

La teneur en chlorophylle est affectée par la disponibilité d'azote dans les feuilles. N est l'un des principaux éléments de la chlorophylle (Li *et al.*, 2009), cette teneur a été mesurée à l'aide d'un chlorophyllo-mètre digital de type SPAD 501 qui donne des lectures en unité SPAD. Cet appareil permet de mesurer l'absorbance de la lumière à travers la feuille sans altérer cette dernière. Sur le milieu de la feuille étandard, nous avons mesuré la teneur moyenne en chlorophylle total à raison de dix plants par chaque parcelle élémentaire.

#### **4.2.2.3. La surface foliaire**

La surface foliaire de la feuille étandard exprimée en cm<sup>2</sup> est définie comme le produit de la longueur totale (L, cm) par la largeur moyenne (l, cm) des feuilles par 0.607, d'après Spagnoletti-Zenli et Qualset (1990), la formule de la surface foliaire est comme suit :

$$\text{SF (cm}^2\text{)} = \text{L} \times \text{l} \times 0.607$$

0.607 = coefficient de régression de la surface estimée à partir du papier grammage sur celle déduite par le produit (L x l). On a déterminé la surface foliaire de cinq plantes et ceci est répété quatre fois dans chaque parcelle élémentaire.

#### **4.2.3. Le rendement en grain et ses composantes**

Les mesurés ont été obtenues à partir des échantillons des bottillons fauchés manuellement sur un segment de rang de 1 mètre linéaire répété quatre fois dans chaque parcelle élémentaire.

##### **4.2.3.1. Le nombre de grains par épi (NGE)**

Le NGE a été déterminé par le battage de dix épis par mètre linéaire/répétition et le comptage des grains de ces derniers, et puis le nombre de grains par épi a été mesuré par la moyenne du nombre de grain par dix épis.

##### **4.2.3.2. Le rendement grain (RDT)**

Le battage des épis provenant des placettes récoltées et le pesage des grains donne une estimation du rendement grain.

#### **4.2.3.3. La biomasse aérienne (BIO)**

La matière sèche (MS) accumulée (biomasse aérienne) est mesurée à maturité. La végétation échantillonnée est fauchée sur un segment de rang de 1 mètre linéaire répété quatre fois dans chaque parcelle élémentaire.

#### **4.2.3.4. Le rendement en paille (PPL)**

Le rendement en grain déduit de la biomasse totale donne une estimation du rendement paille.

#### **4.2.3.5. Le poids de mille grains (PMG)**

Le **PMG** est estimé par comptage et pesée de 250 graines par mètre linéaire/répétition.

#### **4.2.3.6. L'indice de récolte (HI%)**

C'est le rapport entre le rendement en grain (RDT) et la matière sèche totale, il est exprimé en pourcentage (%) (Donald et Hamblin, 1976).

$$\mathbf{HI\% = (RDT/BIO) \times 100}$$

### **5. Analyse statistiques**

Les données de l'expérimentation sont soumises à une analyse de la variance par un logiciel CoStat version 6.400, l'étude des corrélations est faite par ExcelStat, les figures sont réalisées par Excel 2007.

**CHAPITRE III**

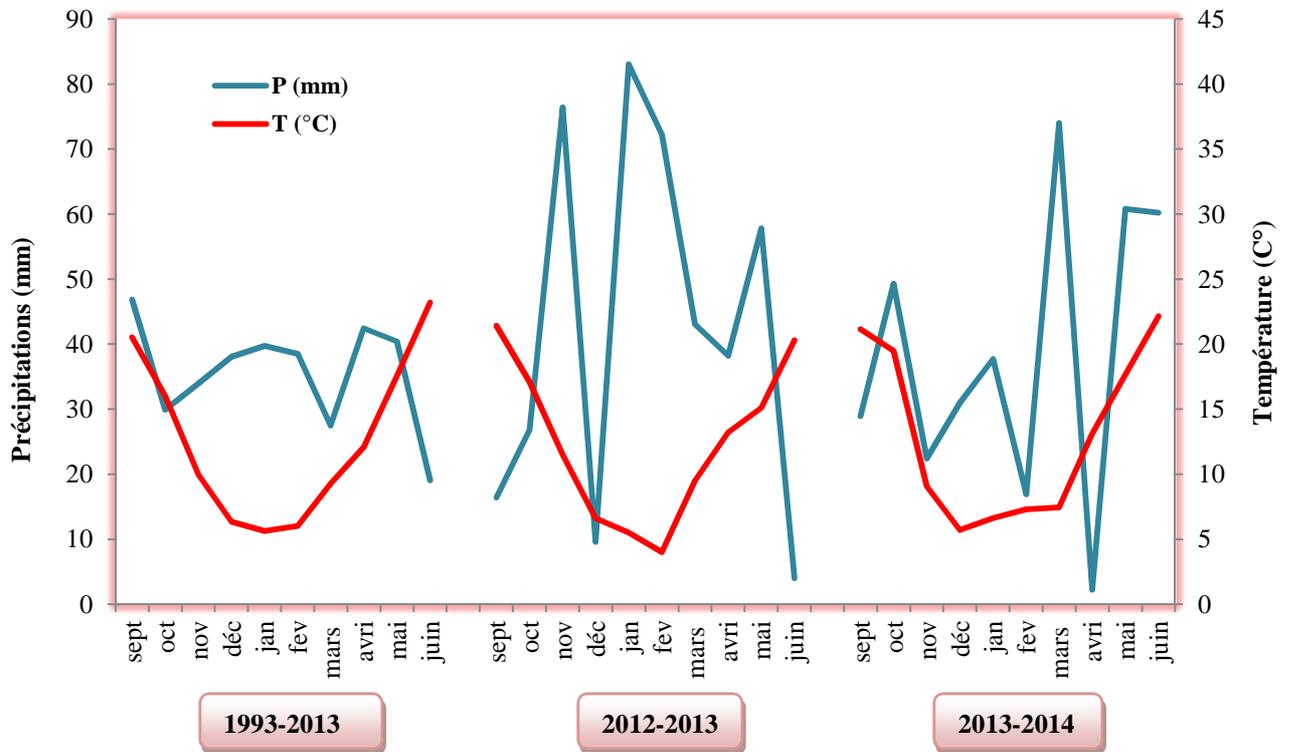
**RESULTATS ET**

**DISCUSSION**

## Chapitre III. Résultats et discussion

### 1. Caractéristiques du climat de la campagne d'étude

Les données climatiques de la région de Sétif pour les campagnes : 2013-2014, 2012-2013 qui précède la campagne de notre étude et celles de la période 1993-2013 extrapolées de l'office nationale météorologique de la Wilaya de Sétif. Le cumul des précipitations du mois de Septembre au mois de Juin correspondant au cycle de la culture de blé dur est de 427.4 mm, 383.4 mm et 356.2 mm respectivement pour la campagne 2012-2013, la campagne 2013-2014, et la campagne moyenne de vingt ans (Fig. III-1).



**Figure III-1 :** Courbes ombrothermiques caractérisant la pluviométrie et la température de la campagne moyenne des 20 ans et des deux dernières campagnes enregistrées dans la région de Sétif.

La campagne moyenne de 20 ans présente une répartition régulière de précipitations, dont le mois le plus pluvieux est le mois de Septembre alors que le mois le moins pluvieux est le mois de Juin. Les précipitations moyennes mensuelles de 20 ans montrent une grande

différence annuelle de chute de pluie sous conditions semi-arides des hautes plaines orientales.

Ceci est confirmé par les différences de précipitations entre la campagne 2012-2013 et 2013-2014 ainsi que la campagne moyenne 1993-2013, les données de précipitations montrent aussi que la campagne 2012-2013 est la plus pluvieuse avec un cumul de 427.4 mm, suivie par la campagne 2013-2014 avec un cumul de 383.4 mm et puis la période 1993-2013 avec un cumul de 356.32 mm.

Les précipitations en campagne 2012-2013 excèdent celles de 2013-2014 par 10.29 % et celles de la période 1993-2013 par 16.63 %. La campagne 2013-2014 a connu une augmentation de 7.06 % que la période 1993-2013, la campagne 2012-2013 se caractérise par la chute de neige.

Durant la campagne 2012-2013 la répartition des précipitations est irrégulière, le mois le plus pluvieux est le mois de Janvier. Alors que le mois le moins pluvieux c'est le mois de Juin. Par contre durant la campagne de notre étude 2013-2014, le mois le plus pluvieux est le mois de Mars, tandis que le mois d'Avril c'est le mois le moins pluvieux (2.2 mm). Cette faible quantité de précipitations durant le mois d'Avril et début Mai coïncide avec le stade de la montaison et de l'épiaison, ce qui influe négativement sur le développement de la culture. Au cours de la même campagne 22.33 % de précipitations a été enregistré dans les mois de l'hiver (Décembre-Février), alors que 35.73 % par les mois de printemps (Mars-Mai). Les conditions climatiques de la campagne de la présente étude sont défavorables pour la croissance de la culture de blé dur ainsi que cette campagne se caractérise par l'irrégularité de la distribution des précipitations.

L'analyse du régime thermique montre que les plus basses températures se situent entre Décembre-Février pour la période 1993-2013, la campagne 2012-2013, et la campagne 2013-2014. Dont la température moyenne la plus basse a été enregistrée dans le mois de Janvier pour la campagne moyenne 1993-2013, le mois de Février pour la campagne 2012-2013 et le mois de Décembre pour la dernière campagne 2013-2014. Les températures les plus élevées ont été souvent enregistrées dans les mois de Juin et Septembre pour les deux campagnes (2012-2013 et 2013-2014) et la campagne moyenne de vingt ans.

La comparaison des diagrammes ombrothermiques (Fig. III-1) montre que la période de sécheresse au cours de la période 1993-2013 s'étale entre le mois d'Octobre au mois de Juin (Fig. III-1). Par contre durant la campagne 2012-2013 la sécheresse s'étale entre les deux mois Septembre et Octobre (Fig. III-1). Pour la campagne 2013-2014 les mois les plus secs sont Septembre et Avril (Fig. III-1).

## 2. Comportement du blé dur sous les différentes pratiques culturales

### 2.1. Caractères agronomiques

**Tableau III-1:** Résultats de l'analyse de la variance des caractères agronomiques pour les différents traitements.

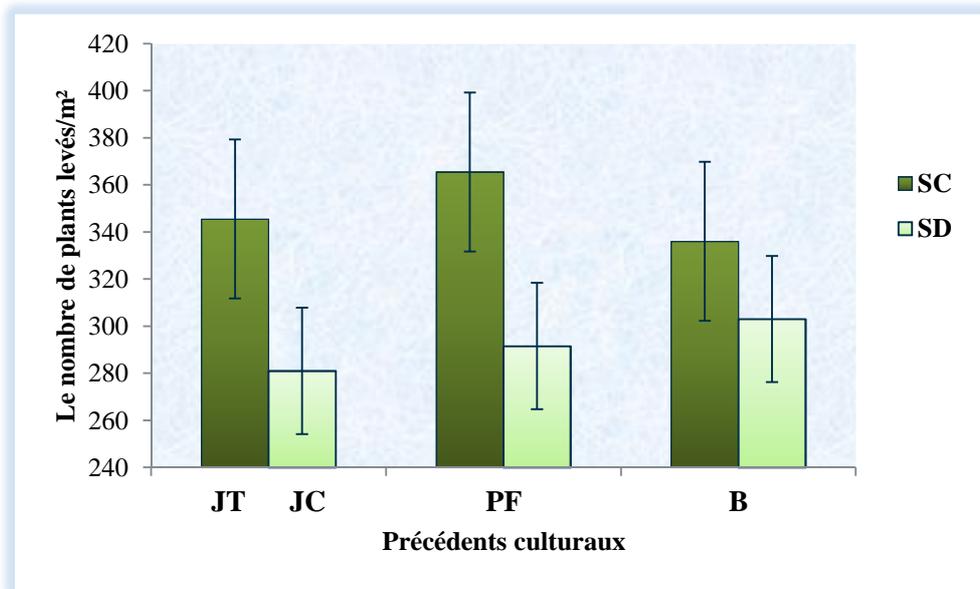
S. variation	ddl	NP/m <sup>2</sup>	NT/m <sup>2</sup>	Ht P	NE/m <sup>2</sup> (épiaison)	NE/m <sup>2</sup> (maturité)	NGE	PMG	LE (cm)
<b>Pratiques culturales (F1)</b>	1	14706.12**	614386.12***	114.45**	12324.5***	12880.13**	41.18**	14.9 <sup>ns</sup>	0.03 <sup>ns</sup>
<b>Précédent (F2)</b>	2	352.63 <sup>ns</sup>	38317.88 <sup>ns</sup>	21.87 <sup>ns</sup>	535.88 <sup>ns</sup>	1149.5 <sup>ns</sup>	6.34 <sup>ns</sup>	5.83 <sup>ns</sup>	0.53 <sup>ns</sup>
<b>Interaction F1*F2</b>	2	690.88 <sup>ns</sup>	11027.63 <sup>ns</sup>	1.65 <sup>ns</sup>	838.63 <sup>ns</sup>	948 <sup>ns</sup>	2.56 <sup>ns</sup>	21.93 <sup>ns</sup>	0.10 <sup>ns</sup>
<b>Erreur</b>	12	1066.25	31642.75	9.90	391.25	1055.63	4.63	10.04	0.20
<b>CV%</b>		10.19	12.79	6.84	7.71	12.36	12.48	8.61	9.03
<b>PPDS 5%</b>		30.47	172.80	3.22	21.55	31.51	2.14	/	/

ns, \*, \*\*, \*\*\* = effet non significatif, significatif au seuil de 5, 1 % respectivement, ddl : degré de liberté, CV : coefficient de variation (%), PPDS : Plus Petite Différence Significative au seuil de 5% , NP/m<sup>2</sup> : nombre de plants levés/m<sup>2</sup>, NT/m<sup>2</sup> : nombre de talles/m<sup>2</sup>, Ht P : hauteur des plantes (cm), NE : nombre d'épis/m<sup>2</sup>, NGE : nombre de grains par épi, PMG : poids de mille grains (g), LE : longueur d'épi (cm).

#### 2.1.1. Le nombre de pieds levés par mètre carré

Les levées sont souvent défectueuses et très variables selon les séquences pluviométriques pendant la période semis-levée ainsi que selon les techniques pratiquées (Fenech et Papy, 1977).

L'analyse de la variance du nombre des plants levés par unité de surface mentionné en Tableau III-1 montre une différence hautement significative entre les deux systèmes. L'étude des moyennes indique des différences entre le semis direct et le système conventionnel avec un avantage marqué pour le système conventionnel. En effet, le système conventionnel permet une levée plus importante avec une moyenne de  $349 \pm 33.76$  plants/m<sup>2</sup>, avec une augmentation de 19.59 % par rapport au semis direct, ce dernier représente une réduction de 16.38 % avec  $291.83 \pm 26.84$  plants/m<sup>2</sup>. Par contre, il n'y a pas de différence significative entre les précédents dans les deux systèmes et l'interaction système x précédent (F1xF2) (Tab. III-1).



**Figure III-2 :** Variation du nombre de plants levés en relation avec le système de culture et le type du précédent.

On remarque que le précédent pois fourrager sous le travail conventionnel enregistre le nombre de plants levés le plus élevé avec une moyenne de 365.50 plants/m<sup>2</sup> (Fig. III-2), et dans le semis direct le précédent blé enregistre le nombre de plants levés le plus élevé avec une moyenne de 303 plants/m<sup>2</sup> (Fig. III-2). La variabilité est faible dans le cas du semis direct avec un écart type de 26.84 par contre chez le travail conventionnel il est de 33.76 (Fig. III-2). Les pertes notées au stade levée dans le semis direct sont dues en partie à la structure du sol non favorable (densité apparente égale à 1.32 g/cm<sup>3</sup>), ce qui rend plus difficile la pénétration des racines et l'installation de la culture, Selon Viaux (1999), les principales difficultés de mise en œuvre sont liées : *i* : Au problème posé par les résidus en particulier les paillis de céréales, *ii* : Au risque d'augmentation des populations de limaces, et *iii* : Aux risques liés au tassement et prise en masse.

Nos résultats peuvent être dus à la présence des résidus à la surface du sol en cas du non labour. L'humidité du sol et les conditions de la température du sol dans la zone du lit de semence peuvent favoriser ou retarder la germination et la levée des plantes (Kaspar *et al.*, 1990), dont les résidus de culture à la surface supérieur du sol provoquent davantage la réduction de la température du sol et le ralentissement de la levée (Wicks *et al.*, 1994), et les résidus de sous-sol dans la ligne de semis ont le potentiel de réduire le contact de la semence au sol (Kushwaha *et al.*, 1986).

La forte présence de mauvaises herbes est la principale cause de la réduction du nombre des plants levés dans le cas du sol non labouré, ceci est démontré par la corrélation négative liant le nombre de plants levés avec la biomasse des plantes adventices monocotylédones ( $r = -0.942^*$ ) ( $P < 0.05$ ) (Tableaux (1) et (2) en annexe). Les mauvaises herbes sont considérées comme nuisibles principalement en raison de la compétition qu'elles exercent sur les cultures pour la lumière, l'eau et les éléments minéraux, à l'origine des pertes de rendement qui peuvent être très importantes, mais elles peuvent aussi rendre la récolte difficile ou en diminuer la qualité (Aubertot *et al.*, 2000). Selon Bouaziz (1987), les obstacles mécaniques affectent la réussite de la levée, ces obstacles mécaniques sont le résultat des mauvaises préparations des lits de semences.

Les résultats de la présente étude corroborent ceux de Lopez-Garrido *et al.* (2014) qui trouvent que la levée des plantes dans le cas du semis direct était extrêmement basse. Selon Ozpinar et Cay (2006), la levée est significativement plus élevée dans le labour conventionnel impliquant un labour avec versoir suivi par deux disques que dans le cas du travail superficiel et le travail du sol avec double disques. D'après Lithourgidis *et al.* (2006), la densité de plants levés est souvent réduite sous le semis direct, mais cet effet ne se retrouve plus au niveau de la densité des épis produits par unité de surface ni au niveau du rendement. Ainsi que d'après Abdellaoui *et al.* (2006), les premiers résultats obtenus ont montré que le semis direct a présenté une plus faible levée par rapport aux deux autres types de travail du sol (TCS et TC). Richard *et al.* (1995), indiquent dans une expérimentation en 1989, 1990, 1991, et 1992 que la levée de betterave à sucre était de 5-20 % faible dans le semis direct que le système conventionnel à l'exception de l'année 1990. Le travail du sol permet une émergence rapide et uniforme des semences (Grant et Lafond, 1993).

Les résultats obtenus par Djaidjaa (2013) dans le même site d'étude avec la même variété, indiquent qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux systèmes de culture, où le nombre de plants levés est moins important dans le semis direct que le système conventionnel. Kravtchenko (2007) affirme également que le semis direct n'a pas un grand effet sur le peuplement plants. Selon Mohanty *et al.* (2006), il n'y avait pas de différence significative entre le TC et le SD sur le nombre de plants levés. Par contre Abdellaoui *et al.*, (2011) et Kourgouli et Aït Ouali (2010), disent que le nombre de plants levés est plus important en semis direct qu'en semis conventionnel. Plusieurs études réalisées dans la région ont révélé un effet systèmes de culture significatif pour le nombre de plants levés par unité de surface avec un nombre de plants levés en semis direct plus élevé, ces auteurs indiquent que

l'avantage du semis direct, pour le nombre de plants levés est lié principalement à la régularité de la profondeur de semis, plus maîtrisable en semis direct qu'en semis conventionnel (Hannachi et Fellahi, 2010 ; Makhlouf *et al.*, 2011 ; Boudiar, 2012 ; Touahria, 2012 ; Fortas *et al.*, 2013 ).

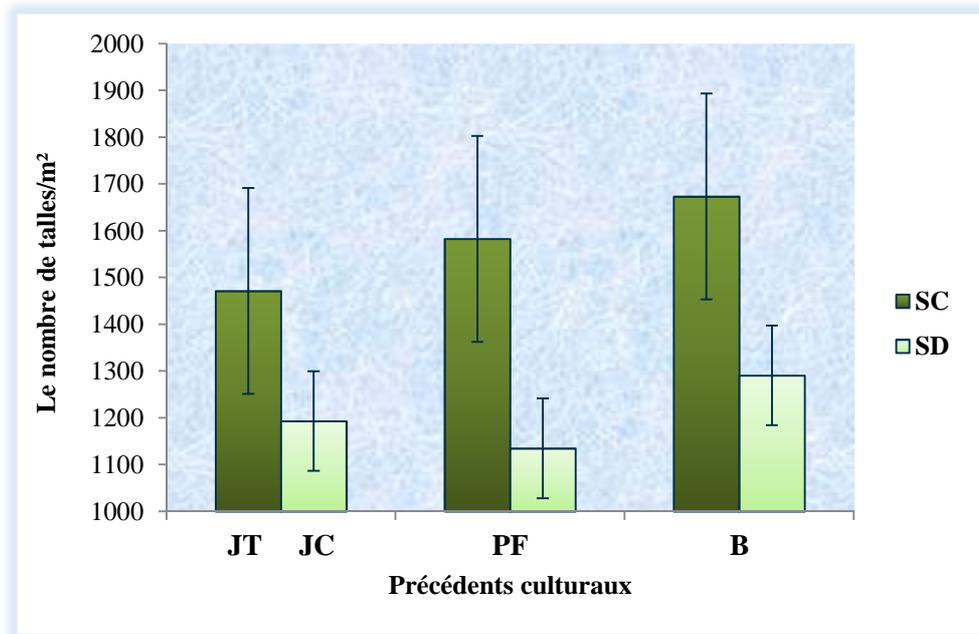
Selon Altikat et Celik (2011), en 2006 le plus haut pourcentage de levée, 86.9 % a été observé dans les parcelles cultivées par le système de travail du sol réduit et le plus faible pourcentage, 70.55 % avec le système conventionnel. Onal et Aykas (1993) ont rapporté que le taux maximal de levée s'est produit avec le système de travail réduit du sol dans des conditions de sol sec.

### ***2.1.2. Le nombre de talles par mètre carré***

Le tallage commence à partir du stade 5 feuilles et a une durée variable qui dépend des conditions climatiques (température) et de la variété (Lacharme, 2001) et l'apparition du tallage dépend à la consommation du carbone (Gautier *et al.*, 1999).

L'analyse de la variance du nombre de talles par mètre carré mentionnée en Tableau III-1, montre qu'il existe une différence très hautement significative entre les deux systèmes de culture (Tab. III-1), alors que l'effet précédent et l'interaction système x précédent (F1xF2) ne présentent aucune signification.

En effet, l'étude des moyennes indique un avantage marqué pour le travail conventionnel avec une moyenne de  $1575.50 \pm 220.12$  talles/m<sup>2</sup> et une augmentation de 30.64 %, contre  $1206 \pm 106.53$  talles/m<sup>2</sup> avec une réduction de 23.45 % pour le semis direct. Le précédent blé dans les deux systèmes présente la valeur la plus élevée du nombre de talles par rapport aux deux autres précédents (Fig. III-3).



**Figure III-3 :** Variation du nombre de talles par mètre carré en relation avec le système de culture et le type du précédent.

D'après la figure III-3, on remarque que la variabilité est faible dans le semis direct que dans le cas du labour conventionnel dont la valeur de l'écart type est de 106.53 et 220.12 respectivement pour le semis direct et le travail conventionnel.

Ces résultats corroborent ceux obtenus par Li *et al.* (2008), qui trouvent que le taux de tallage pour une culture de blé tendre sous le non labour est faible que dans le cas du travail conventionnel avec l'incorporation de chaume (TC) et le travail du sol rotatif avec le retour des résidus (TR) dans les deux saisons 2004-2005 et 2005-2006. Le non labour a été signalé comme réducteur de tallage du riz, et le nombre efficace de panicule (Li *et al.*, 2001).

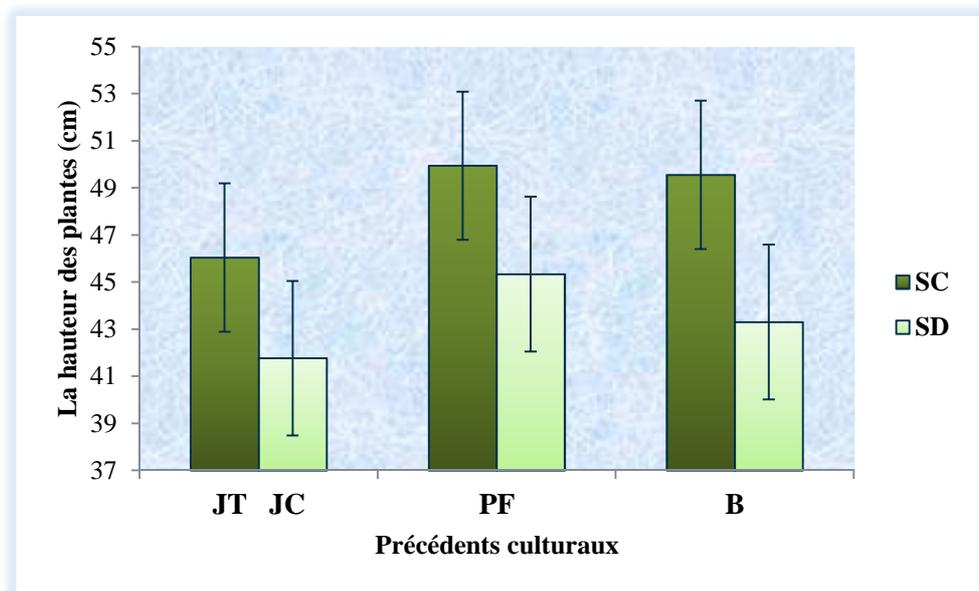
Le faible tallage dans le cas du semis direct dans la présente étude est le résultat d'un faible taux de levée. Huang *et al.* (2012) indiquent que le faible nombre de talles pour une culture de riz dans le semis direct est attribué à une faiblesse de la capacité à la photosynthèse. Le facteur tallage est très sensible aux données du milieu, est en fait mal contrôlé, (mauvaise levée et tallage faible lié à une température élevée et une montaison précoce (Gallais et Bannerot, 1992). Le non labour associé à un compactage du sol provoque un environnement défavorable pour les racines de riz au stade de croissance précoce, qui en résulte une capacité inférieure du métabolisme photosynthétique de carbone et des réductions conséquentes en nombre de talles (Huang *et al.*, 2012). Wade *et al.* (2006) ont conclu que l'augmentation du nombre de talles est due plutôt à une compensation d'une réduction d'établissement.

Les résultats de la présente étude sont contradictoires à ceux de Huang *et al.* (2011), qui trouvent que le nombre maximum de talles pour le riz par m<sup>2</sup> sous le repiquage est faible que dans le cas du semis direct. Badshah *et al.* (2014) indiquent que le nombre de talles est souvent plus élevé sous le semis direct que dans le cas du repiquage pour une culture de riz. Un tallage excessif conduit à un haut avortement de talles, un pauvre réglage de grains, la formation des panicules de petite taille, et une réduction supplémentaire dans le rendement grain (Peng *et al.*, 1994 ; Ahmad *et al.*, 2005).

### 2.1.3. La hauteur des plantes

La grande variabilité de la hauteur des plantes, ou encore des fruits est due aux caractéristiques trop hétérogènes (Plucknett *et al.*, 1990). Les désherbants et les fertilisants affectent la hauteur de la plante (Rockmore, 1997).

L'analyse de la variance de la hauteur des plantes à la maturité citée en Tableau III-1, indique un effet mode de semis hautement significatif, alors que le précédent cultural et l'interaction système x précédent (F1xF2) n'ont aucun effet.



**Figure III-4 :** Variation de la hauteur des plantes en relation avec le système de culture et le type du précédent.

L'étude des valeurs moyennes chez les deux modes de semis indique l'avantage du système conventionnel avec une moyenne de  $48.51 \pm 3.15$  cm avec une augmentation de 11.59 %, alors que la moyenne ne dépasse pas  $43.47 \pm 3.29$  cm en semis direct avec une réduction de

11.36 %. Concernant les précédents, le précédent pois fourrager marque la valeur la plus élevée (Fig. III-4) avec une moyenne de 49.94 cm et 45.33 cm respectivement pour le travail conventionnel et le semis direct (Fig. III-4). Ceci peut être dû à l'enrichissement du sol en azote par le précédent pois fourrager. Selon Wiatrak *et al.* (2006), l'application de la fertilisation azotée avec un précédent coton a augmenté la hauteur des plantes par rapport au traitement sans application de la fertilisation azotée.

On observe pour la hauteur des plantes que la valeur de l'écart type est presque la même pour les deux systèmes de culture mais elle est faible sous le labour avec une valeur de 3.15 que dans le cas du non labour avec une valeur de 3.29 (Fig. III- 4).

Les résultats obtenus dans notre étude corroborent ceux de Djaidjaa (2013) dans le même site d'étude, et à ceux de Hannachi et Fellahi (2010) et Fortas *et al.*, (2013). Selon Ouazar (2012), il y'a un effet significatif du travail du sol concernant la hauteur de la végétation mesurée au cours de la campagne 2010-2011, avec un avantage marqué pour le travail conventionnel. Selon Lo'pez-Garrido *et al.* (2014), la hauteur des plantes dans le cas du semis direct était très faible. Une plus grande hauteur de la plante était notée dans le travail conventionnel que dans le semis direct (Wiatrak *et al.*, 2006).

Selon Liu *et al.* (2007), les plants de riz dans l'intercalaire avec des traitements de non-labour sont plus courtes que dans le cas du repiquage avec un travail du sol. Durant la campagne 2004-2005 l'ordre de la hauteur de la plante à partir de la plus basse à la plus élevée était dans le non labour, le travail du sol rotatif avec le retour des résidus (TR), et travail conventionnel avec l'incorporation de chaume (TC) (Li *et al.*, 2008).

Par contre nos résultats vont à l'encontre avec Arora *et al.* (1991), qui rapportent qu'une meilleure croissance des plantes de maïs dans le cas du sol non labouré s'est produite seulement en texture grossière. Dans une expérience faite en 1993, le non labour a maintenu une hauteur de plantes supérieures que dans le cas du travail du sol pendant toute la saison (Karunatilake *et al.*, 2000).

La moyenne de la hauteur des plantes sous le non labour est plus élevée que sous le travail conventionnel (Du *et al.*, 2014).

Touahria (2012) et Makhoulf *et al.* (2011) dans les hautes plaines de la région de Sétif ne trouvent pas de différence significative entre les deux systèmes de culture avec un avantage marqué pour le semis direct.

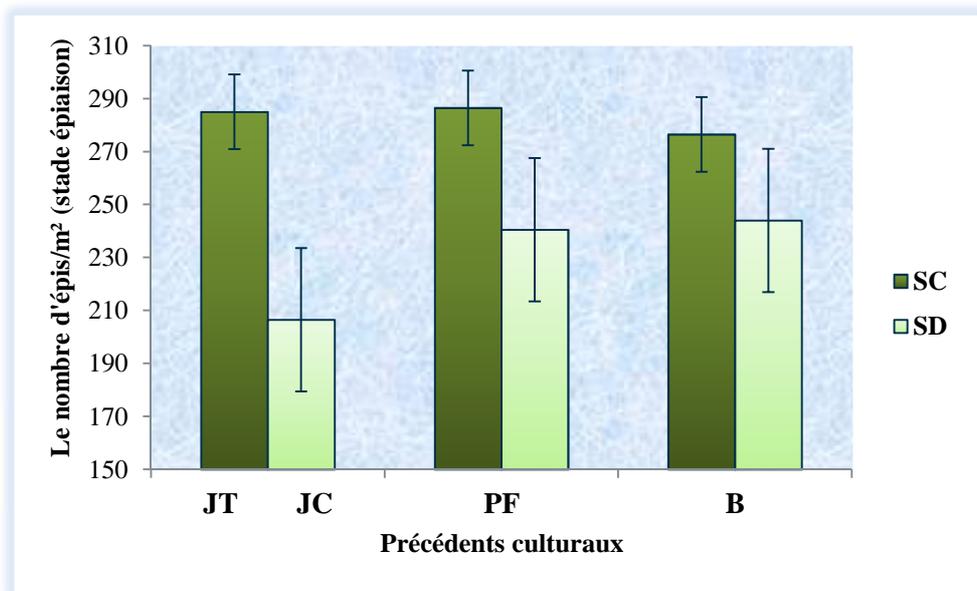
Les valeurs de la hauteur des plantes dans la présente étude sont relativement basses par rapport à ceux obtenues par Djaidjaa (2013) et Touahria (2012) dans le même site expérimental et pour la même variété, cette réduction de la hauteur des plantes est due à la sécheresse car cette année a connu un faible taux de précipitation. Le déficit hydrique arrivant au stade jeune (tallage) réduit en même temps la croissance en hauteur et le nombre d'épis par unité de surface et limite tous les processus physiologiques (Bennaceur *et al.*, 1999).

#### **2.1.4. Le nombre d'épis par mètre carré**

Le nombre d'épis par mètre carré réfère à la capacité du blé à produire des talles et reflète donc son potentiel de rendement (Satorre et Slafer, 1999).

L'analyse de la variance du nombre d'épis par mètre carré au stade épiaison portée en Tableau III-1 montre qu'il ya une différence très hautement significative entre les systèmes de culture. Le précédent cultural et l'interaction système x précédent (F1xF2) n'engendrent aucun effet significatif.

L'étude des valeurs moyennes révèle que le système conventionnel produit plus d'épis au stade épiaison que le semis direct avec une moyenne de  $282.66 \pm 14.09$  épis/m<sup>2</sup>,  $230.33 \pm 27.05$  épis/m<sup>2</sup>, respectivement pour le labour conventionnel et le semis direct, une situation engendrée par un peuplement à la levée non élevé pour le semis direct. Pour le système conventionnel le précédent pois fourrager donne le nombre d'épis le plus élevé avec une moyenne de 286.50 épis/m<sup>2</sup> (Fig. III-5), alors que le précédent blé dans le semis direct marque une moyenne de 244 épis/m<sup>2</sup> qui est la plus élevée (Fig. III-5).

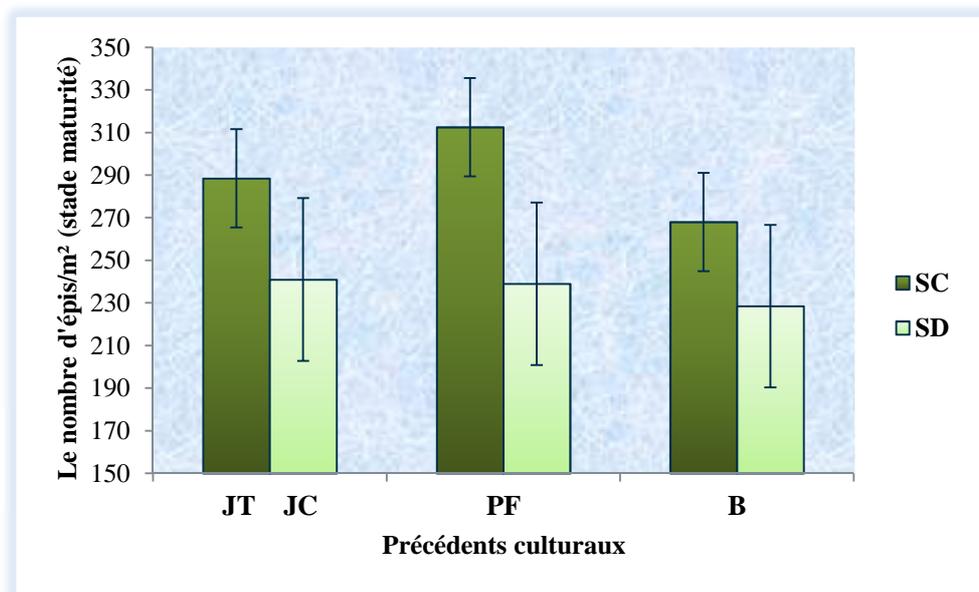


**Figure III-5 :** Variation du nombre d'épis par mètre carré au stade épiaison en relation avec le système de culture et le type du précédent.

La variabilité est faible dans le cas du travail conventionnel que le semis direct, dont l'écart type est de 14.09 dans le cas du système conventionnel. Alors que dans le semis direct il affiche une valeur de 27.05 (Fig. III-5).

Pour le nombre d'épis au stade maturité, l'analyse de la variance indique qu'il y'a une différence hautement significative entre les systèmes de culture (Tab. III-1). Le précédent cultural pour le système conventionnel a un effet significatif, alors que le précédent cultural pour le semis direct et l'interaction système x précédent (F1xF2) n'engendrent aucun effet significatif.

L'étude des valeurs moyennes révèle que le système conventionnel produit plus d'épis que le semis direct avec une moyenne de  $289.66 \pm 23.10$  épis/m<sup>2</sup>,  $236.17 \pm 38.16$  épis/m<sup>2</sup>, respectivement pour le labour conventionnel et le semis direct. Le travail conventionnel a connu une augmentation de 22.65 %. Alors que le semis direct a réalisé une réduction de 18.47 %.



**Figure III-6 :** Variation du nombre d'épis par mètre carré au stade maturité en relation avec le système de culture et le type du précédent.

Pour le système conventionnel le précédent pois fourrager a marqué un avantage avec une moyenne de 312.5 épis/m<sup>2</sup> (Fig. III-6). Mais pour le semis direct le précédent jachère chimique donne une moyenne de 241 épis/m<sup>2</sup> (Fig. III-6). La variabilité est faible dans le cas du labour que dans le cas du sol non labouré avec une valeur de 23.10 contre 38.16 pour le semis direct (Fig. III-6).

Le nombre d'épis par mètre carré a connu une amélioration depuis le stade épiaison jusqu'à la maturité dans les deux systèmes de culture, cette amélioration est de l'ordre de 7 épis/m<sup>2</sup> et 5.83 épis/m<sup>2</sup>, respectivement pour le travail conventionnel et le semis direct. Pour le facteur précédent, on remarque qu'il ya une certaine perte dans les deux précédents pois fourrager et blé pour le semis direct. Dans cette situation le travail conventionnel offre plus de nombre d'épis malgré que durant ce stade le semis direct garde plus d'humidité que le système conventionnel, ça veut dire que la plante utilise plus d'eau dans le sol labouré que sous un sol non perturbé.

Ces résultats corroborent ceux obtenus par Djaidjaa (2013) dans le même site d'étude et pour la même variété, où le système conventionnel produit plus d'épis que le semis direct. Belagrouz (2013) montre qu'il n'y a pas un effet significatif entre les systèmes de culture

pour le blé tendre, où le labour conventionnel produit plus d'épis que les systèmes de conservation du sol. Une différence non significative de cette composante a été révélée par Abdellaoui *et al.*, (2006). Néanmoins on note que sur semis direct le peuplement épis était moins important, le manque d'eau diminue le nombre d'épis par plant, la longueur des épis et le nombre de grains par épi (Doorenbos *et al.*, 1987).

Ces résultats sont en contradiction avec ceux obtenus par Touahria (2012), où il n'y a pas de différence significative entre les deux systèmes de culture, et le semis direct présente un nombre d'épis plus élevé que le système conventionnel.

D'après Hannachi et Fellahi (2010), relativement au travail conventionnel, l'effet moyen du semis direct, calculé en moyenne de trois couverts indique un avantage marqué pour les épis/m<sup>2</sup> de plus de 60 %. Makhlouf *et al.*, (2011), Abdellaoui *et al.*, (2011), et Fortas *et al.*, (2013) montrent qu'il y a une différence significative entre les systèmes de culture pour le nombre d'épis par mètre carré, avec un avantage marqué pour le semis direct.

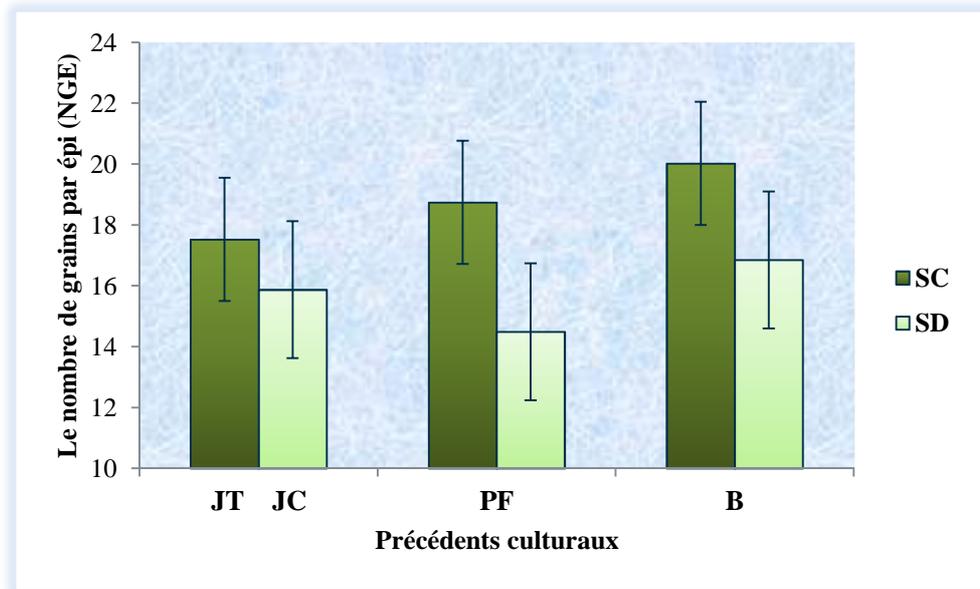
Le nombre d'épis était plus élevé sous le non labour que dans le travail conventionnel (Franzluebbers et Stuedemann, 2014).

Le travail conventionnel affiche un nombre d'épis très important par rapport à celui obtenu par le semis direct. Avec ce système, le nombre d'épis le plus élevé est enregistrée pour les parcelles ayant comme précédent cultural le pois fourrager (Fig. III-5 et Fig. III-6) suite à un enrichissement du sol en azote par les légumineuses. Le nombre d'épis est la composante de rendement la plus affectée par les niveaux de la fertilisation azotée et il est le responsable aux différences observées dans le rendement (Cantero-Martínez *et al.*, 2003).

#### **2.1.5. Le nombre de grains par épi**

Le nombre de grains par épi est la composante de rendement la plus touchée et cela a été proposée comme un critère de sélection important pour la tolérance à la sécheresse (Shpiler et Blum, 1986, 1991). Avant l'anthèse, une augmentation de l'absorption d'azote par la culture se traduit notamment par une augmentation de la surface foliaire, du nombre de talles épiées, et du nombre de grains par épi et donc du rendement (Triboï, 1990).

Les résultats de l'analyse de la variance du nombre de grains par épi (fertilité épi) mentionnés en Tableau III-1 indiquent un effet mode de semis hautement significatif, alors que le précédent et l'interaction système x précédent (F1xF2) n'affichent aucune différence significative.



**Figure III-7 :** Variation du nombre de grains par épi (NGE) en relation avec le système de culture et le type du précédent.

L'étude des moyennes montre un avantage marqué pour le système conventionnel avec une moyenne de  $18.76 \pm 2.03$  grains/épi, contre  $15.74 \pm 2.25$  grains/épi pour le semis direct. Le précédent blé marque la valeur la plus élevée qui est de 20.02 grains/épi et 16.85 grains/épi, respectivement pour le système conventionnel et le semis direct (Fig. III-7). Le système du labour a connu une augmentation de 19.19 %. Mais le système de conservation du sol se réduit à 16.1%. La variabilité entre les précédents est faible dans le cas du travail conventionnel avec un écart type de valeur de 2.03 dont la valeur de l'écart type dans le semis direct est de 2.25 (Fig. III-7).

Les résultats de la présente étude sont en accord avec ceux obtenus par Hannachi et Fellahi (2010) et Abdellaoui *et al.* (2006), et sont en contradiction avec ceux obtenus par Djaidjaa (2013) et Belagrouz (2013), où il n'y a pas effet mode de semis significatif, et le semis direct (SD) a présenté le nombre de grains par épi le plus élevé. Touahria (2012), trouve que le non labour est avantageux concernant le nombre de grains par épi que le labour. D'après Usman *et al.*, (2014), le non labour avec un mulch retenu produit en 2011-2012 plus de grains par épi. Morell *et al.* (2011), montrent que le non labour augmente le nombre de grains pendant les années sèches (2006 et 2007) ; à l'inverse pendant l'année la plus humide (2009), le nombre

de grains par épi tend à accroître sous le semis direct, avec une augmentation significative en 2006 et 2009.

Selon Rieger *et al.* (2008), les systèmes de culture n'affectent pas le nombre moyen des grains par épi.

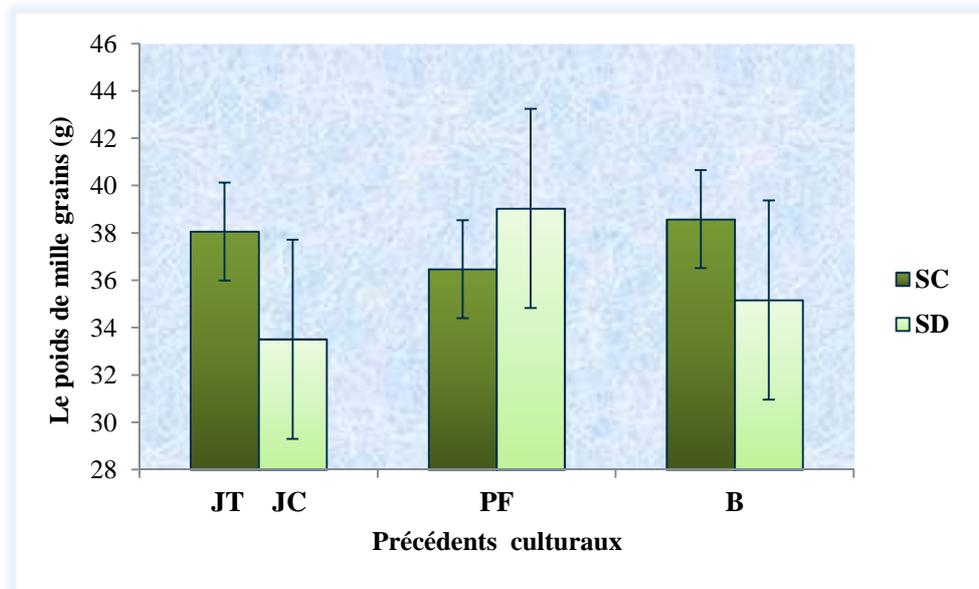
Les valeurs de notre expérimentation sont inférieures par rapport à ceux obtenues par Djaidjaa (2013) dans le même site d'étude et pour la même variété. Par ailleurs, les dégâts causés par la grêle durant le mois de Juin ainsi que la période de sécheresse au stade montaison-début épiaison sont partiellement responsables de ces résultats peu performants. Selon Pintus (1995), si le nombre de grains par épi est faible, un accident doit avoir un lieu durant le stade de floraison, conduisant à un avortement des fleurs. Le nombre de grains par épi diminue fortement lorsque la période de l'épiaison connaisse un stress hydrique (Hochman, 1982).

#### **2.1.6. Le poids de mille grains (PMG)**

Le poids de mille grains est un bon indicateur de dimensions des graines, qui varie selon les conditions de la croissance et de la maturité (Salban et Ramaswamy, 2003).

Les résultats de l'analyse de la variance de poids de mille grains (PMG) mentionnés dans le Tableau III-1 n'affichent aucune différence significative ni pour le mode de semis, ni pour le précédent, et même pour l'interaction système x précédent (F1xF2).

L'effet non significatif indique que le cultivar testé pour ce caractère mesuré répond d'une manière similaire aux deux niveaux de perturbation du sol. En revanche, conduite sur sol en labour traditionnel (TC), en sol sans perturbation (SD), l'expression de la variété pour cette composante ne varie pas d'une manière appréciable. Néanmoins, les résultats indiquent que le semis conventionnel (TC) a présenté le poids de mille grains le plus élevé ( $37.70 \pm 2.07$  g), Tandis que le semis direct (SD) a montré la valeur de  $35.90 \pm 4.21$  g. Le précédent blé dans le système conventionnel a présenté la valeur la plus élevée avec 38.57 g (Fig. III-8). Tandis que, dans le semis direct le précédent pois fourrager affiche la moyenne la plus élevée avec 39.03 g (Fig. III-8).



**Figure III-8 :** Variation du poids de mille grains (g) en relation avec le système de culture et le type du précédent.

Ces résultats corroborent ceux obtenus par (Rieger *et al.*, 2008 ; Hannachi et Fellahi, 2010 ; Touahria, 2012 ; Belagrouz, 2013 ; Fortas *et al.*, 2013), qui ont montré que le poids de mille grains est faible dans le cas du semis direct que dans le travail conventionnel.

L'écart type affiche une valeur plus faible dans le cas du système conventionnel qui est de 2.07 par rapport le semis direct qui est de 4.21 (Fig. III-8).

La réduction du poids de mille grains est due au déficit hydrique ; dont on observe que la plupart des graines sont échaudées. La sécheresse permettra également de réduire le poids du grain surtout pendant la phase de remplissage du grain (Bindraban *et al.*, 1998). En comparaison avec des plantes irriguées, la sécheresse survenant pendant la période de remplissage des grains réduit le poids des grains (Lawlor *et al.*, 1981 ; Mogensen et Jensen , 1989 ; Mogensen, 1991).

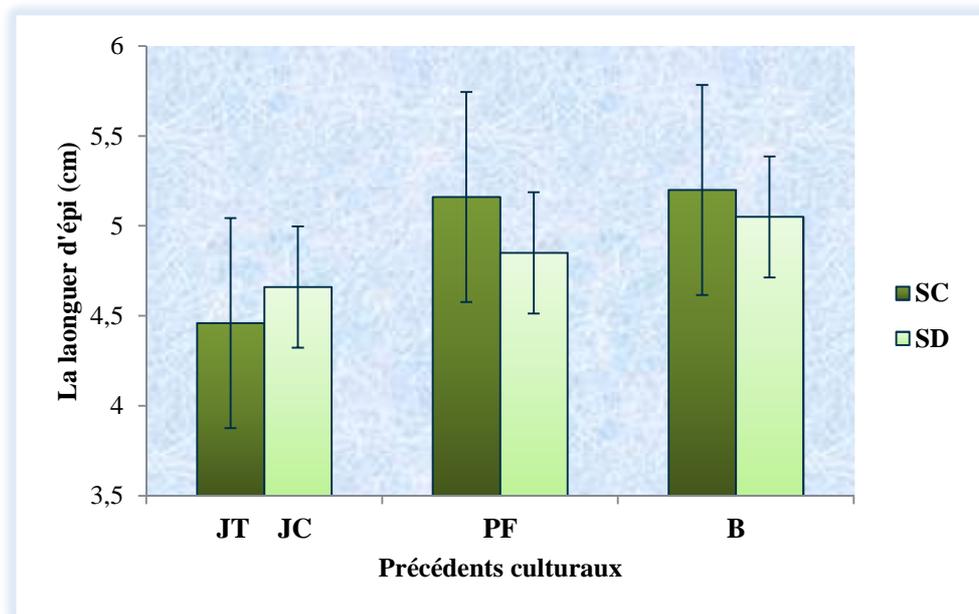
A l'inverse, Djaidjaa (2013), montre que le semis direct garde l'avantage pour le poids de 1000 grains. Le PMG sous le non labour avec un mulch retenu est supérieur que dans le cas du travail conventionnel avec l'incorporation de mulch dans la campagne (2010-2011), par contre en 2011-2012, le travail du sol avec l'incorporation de mulch produit des grains lourds par rapport aux autres systèmes de culture (Usman *et al.*, 2014). Santín-Montany *et al.* (2014)

trouvent que le poids de mille grains pour le pois était significativement faible dans le travail superficiel que dans le semis direct et le labour conventionnel, la différence entre les techniques de travail du sol étaient conformes en particulier lorsque les précipitations étaient très rares (2008/09).

Hannachi et Fellahi (2010) et Touahria (2012), révèlent que les traitements qui produisent plus d'épis par m<sup>2</sup>, nombre de grains par m<sup>2</sup> et par épi, n'arrivent pas à avoir un poids de 1000 grains élevé. Certaines études ont démontré que le type de travail du sol n'avait pas d'influence sur le poids de 1000 grains (Galantini *et al.*, 2000 ; Ozpinar, 2006 ; Carr *et al.*, 2003).

### 2.1.7. La longueur de l'épi (LE)

Les résultats de l'analyse de la variance de la longueur de l'épi (LE) mentionnés en Tableau III-1 n'affiche aucune différence significative ni pour le mode de semis, ni pour le précédent, et même pour l'interaction système x précédent (F1xF2).



**Figure III-9 :** Variation de la longueur d'épi en relation avec le système de culture et le type du précédent.

La variabilité dans le cas du semis direct est faible que dans le cas du labour, avec une valeur de l'écart type de 0.34 mais dans le travail conventionnel elle est de 0.58 (Fig. III-9).

L'étude des moyennes révèle que le labour conventionnel a présenté une valeur de  $4.94 \pm 0.58$  cm un peu élevé que le semis direct ( $4.86 \pm 0.34$  cm). Le précédent blé dans les deux systèmes marque la valeur la plus élevée par rapport aux deux autres précédents (Fig. III-9). Nos résultats sont similaires avec ceux de Salem *et al.* (2014), qui indiquent que dans le cas de non labour la longueur d'épi est la plus faible.

## 2.2. Rendements

**Tableau III-2 :** Résultats de l'analyse de la variance des rendements de la culture du blé dur pour les différents traitements.

S.variation	ddl	RDT	RDTbio	PLL	HI
Pratiques culturales (F1)	1	237.03**	2236.46 *	168.45 <sup>ns</sup>	126.36*
Précédent (F2)	2	4.54 <sup>ns</sup>	480.98 <sup>ns</sup>	132.1 <sup>ns</sup>	64.2 <sup>ns</sup>
Interaction F1*F2	2	2.16 <sup>ns</sup>	56.55 <sup>ns</sup>	12.03 <sup>ns</sup>	7.41 <sup>ns</sup>
Erreur	12	18.63	281.22	38.41	17.23
CV%		25.15	22.99	23.29	10.60
PPDS 5%		3.85	16.67	/	4.67

ns, \*, \*\* = effet non significatif, significatif au seuil de 5, 1 % respectivement, ddl : degré de liberté, CV : coefficient de variation (%), PPDS : Plus Petite Différence Significative au seuil de 5%, RDT : rendement grain (q/ha), RDTbio : rendement en biomasse aérienne (q/ha), PLL : rendement en paille (q/ha), HI : indice de récolte (%).

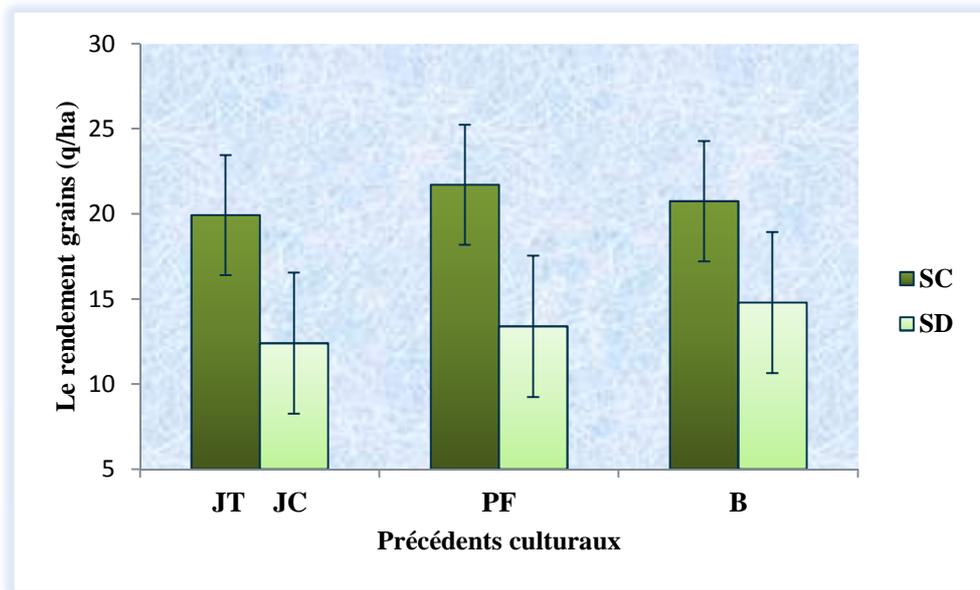
### 2.2.1. Le rendement grain

Il a été proposé que le rendement grain peut être analysé par l'observation du : (1) nombre d'épis par mètre carré, (2) nombre de grains par épi, et (3) poids des grains (Engledow et Wadham, 1923). Le rendement grain dépend de plusieurs déterminants de la croissance et de développement des plantes et dépend également du nombre de plants et des caractéristiques des grains (Quarrie *et al.*, 2005).

L'analyse des données relatives au rendement grain citée en Tableau III-2, montre qu'il y'a une différence hautement significative entre les deux pratiques culturales, alors que le précédent et l'interaction système x précédent (F1xF2) n'ont aucun effet significatif.

L'étude des valeurs moyennes montre que la technique du semis conventionnel réalise un rendement grain significativement supérieur au rendement obtenu sous les conditions du semis direct avec une valeur de  $20.79 \pm 3.53$  q/ha, et  $13.53 \pm 4.14$  q/ha respectivement pour le

travail conventionnel et le système de conservation du sol. Le non labour a réduit le rendement de 34.92 % que le système du labour conventionnel.



**Figure III-10 :** Variation du rendement grain en relation avec le système de culture et le type du précédent.

D'après la figure III-10, le précédent pois fourrager dans le système conventionnel enregistre la valeur la plus élevée qui est de 21.70 q/ha, ce résultat peut être attribué en partie à la présence d'azote dans le sol produit par la légumineuse. Pour le semis direct le précédent blé affiche la valeur la plus élevée qui est de 14.79 q/ha (Fig. III-10). La valeur de l'écart type est faible dans le cas du labour qui est de 3.53 par contre dans le cas du semis direct elle est de 4.14 (Fig. III-10).

Les résultats de la présente étude corroborent ceux réalisés dans les hautes plaines algériennes qui indiquent que le rendement grain en cas du labour conventionnel était plus élevé comparativement à celui mise en place dans le semis direct (Chennafi *et al.*, 2011 ; Ouanzar, 2012 ; Belagrouz, 2013 ; Fortas *et al.*, 2013). Salem *et al.* (2014), indiquent que le zéro labour diminue le rendement grain à 15.4 % comparativement à un travail conventionnel. Afzalinia et Zabihi (2014) ont constaté que la culture sans labour dans une enquête à court terme a diminué le rendement en grain de maïs à 18.2 %, ces mêmes auteurs ont rapporté que la raison de cette baisse de rendement du maïs est l'aspect compact du sol sous culture sans labour.

Certaines études indiquent que le travail conventionnel augmentent le rendement grain (Dill-Macky et Jones, 2000 ; Chen *et al.*, 2011 ; Tang *et al.*, 2011).

Une étude réalisée par Brennan *et al.* (2014), indique que le travail conventionnel a eu un rendement grain significativement plus élevé au cours des trois ans, mais les rendements ne diffèrent pas en 2009.

Les résultats de la présente étude contrastent ceux de Touahria (2012) qui trouve que le semis direct réalise un rendement grain significativement supérieur au rendement obtenu sous les conditions du labour conventionnel. Houx III *et al.* (2014), indiquent que le non labour a abouti à des meilleurs rendements de soja dans les deux ans. Le rendement du blé (grain et paille) a augmenté significativement sous le non labour comparativement à un sol labouré (Iqbal *et al.*, 2005). D'après De Vita *et al.* (2007b), le rendement le plus élevé a été obtenu avec le semis direct que le travail conventionnel dans les 2 premières années à **Foggia**. En revanche, le rendement et la qualité des paramètres moyens de **Vasto** étaient similaires pour les deux traitements, sauf dans la troisième année où TC a produit plus que le semis direct (De Vita *et al.*, 2007b).

Le rendement grain était presque trois fois plus élevé dans le cas du non labour par rapport aux parcelles labourées (Gómez-Paccard *et al.*, 2014). Mrabet (2011) observe durant une période de neuf ans, que le rendement grain du non labour était égal ou supérieur à celui du labour conventionnel. Ainsi que Abdellaoui *et al.* (2011) ont confirmé qu'après la 3<sup>ème</sup> année de conduite en semis direct, une nette différence s'est montrée sur l'expression du rendement dont le non labour a donné les meilleurs rendements atteignant 38 q/ha, soit une élévation de 10 q/ha par rapport aux pratiques conventionnelles. D'autres études ont montré également que le labour conventionnel réduit le rendement grain (Kirkegaard, 1995 ; Su *et al.*, 2007 ; Xie *et al.*, 2008).

Certains auteurs n'observent pas de différence significative entre les deux systèmes de culture sur le rendement grain (Hao *et al.*, 2001 ; Mrabet, 2001b ; Lithourgidis *et al.*, 2006 ; Makhoulf *et al.*, 2011 ; Djaidjaa, 2013). Selon Moroke *et al.* (2011), le rendement grain pour le pois chiche et le tournesol n'étaient pas significativement affecté par le système de culture dans les deux années 2000 et 2001, par contre le rendement en grain de sorgho a répondu positivement au semis direct par rapport à un travail du sol avec les résidus de culture dans les deux années.

Les résultats de notre étude affichent des valeurs de rendement grain très faibles comparativement à ceux de Djaidjaa (2013), on peut expliquer ça par la rareté de précipitations en cette année surtout au stade épiaison. D'après Nouri-Ganbalani *et al.* (2009), le stress hydrique pourrait réduire le rendement en grain avec une perte de rendement moyen de 17 à 70 %. La principale cause de la perte de rendement c'est la grêle qui tombe au mois du Juin qui provoque d'énormes pertes de grains et cela se traduit par la réduction du nombre de grains par épi.

Le faible rendement grain observé en semis direct s'explique également par le fait que ce mode de conduite se distingue aussi, par la production d'un nombre d'épis par mètre carré et d'un nombre de grains par épi faibles. Une autre explication partielle relative aux rendements moins élevés dans le semis direct réside dans la forte présence des mauvaises herbes. Dont l'analyse de la variance montre des différences significatives dans les deux systèmes pour la biomasse de ces dernières avec la supériorité du système de semis direct (Tab. 1-annexe). L'étude des moyennes montre que la moyenne de la biomasse accumulée chez les plantes adventices dicotylédones est de 39.33 g/m<sup>2</sup> dans le semis direct, alors qu'elle est de 9.45 g/m<sup>2</sup> dans le système conventionnel. En outre, les adventices monocotylédones accumulent plus de matière sèche dans le cas du sol non labouré avec une moyenne de 88.10 g/m<sup>2</sup> qu'un sol travaillé qui ne représente que 1.47 g/m<sup>2</sup>. Parmi les espèces dicotylédones les plus abondantes sont : *Sinapis arvensis* L., *Polygonum aviculare* L., *Veronica cymbalaria* Bodard, *Sonchus asper*, *Scandix pecten -veneris* L., *Papaver rhoeas* L. Chez les espèces monocotylédones on observe plus particulièrement la forte abondance de *Bromus rubens* L., ainsi on note la présence d' *Hordeum murinum* L.

L'étude de corrélation indique que le rendement grain, le nombre d'épis par mètre carré et le nombre de grains par épi sont négativement et significativement corrélés avec la biomasse des adventices monocotylédones (Tab. 2-annexe). On peut dire que lorsque la biomasse des plantes adventices monocotylédones augmente le nombre d'épis au stade épiaison et le nombre de grains par épi diminuent, et par conséquent le rendement grain se réduira. Les mauvaises herbes ont exercé une forte concurrence sur les plans de l'alimentation hydrique et minérale vis-à-vis de la culture. Elles peuvent aussi héberger de nombreux ravageurs et transmettre des maladies nuisibles aux cultures (Gibot-Leclerc *et al.*, 2003).

Un semis trop serré ou des plantes adventices trop nombreuses diminuent la quantité de la lumière reçue par la plante cultivée : son intensité photosynthétique diminue, c'est une des

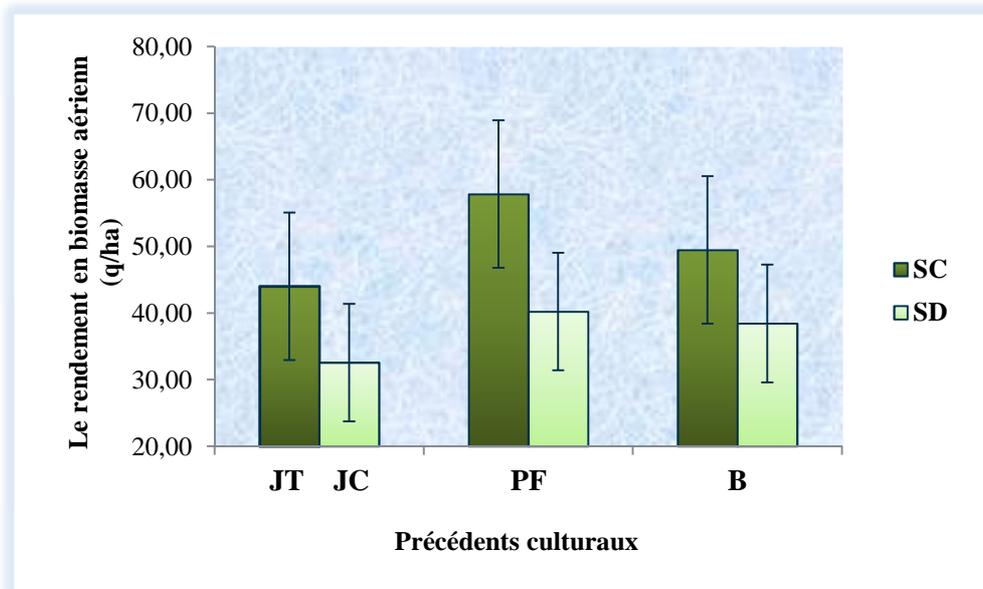
raisons pour lesquelles les adventices diminuent le rendement et qu'il faut les limiter ou les détruire (Battigner *et al.*, 2011).

Cette réduction du rendement est expliquée aussi par la compaction de l'horizon de surface sous la pratique du non labour, ce qui réduit la progression des racines pour exploiter les couches profondes du sol (Lopez *et al.*, 1996). La diminution de la température du sol dans le cas du zéro labour est une raison potentielle pour la réduction de rendement et les composantes du rendement (Salem *et al.*, 2014). Selon Cannell (1985), dans les sols compacts la résistance du sol excessive peut réduire la croissance des racines. La structure du sol affecte les caractéristiques des racines qui peuvent altérer la croissance de la plante (Passioura, 2002).

### **2.2.2. Le rendement en biomasse aérienne**

L'analyse de la variance du rendement en biomasse aérienne mentionnée en Tableau III-2, montre que l'effet mode de semis est significatif, alors que le précédent et l'interaction système x précédent (F1xF2) ne présentent aucune différence significative.

L'étude des moyennes indique que le système conventionnel réalise plus de biomasse aérienne avec une valeur de  $50.45 \pm 18.44$  q/ha, par contre le semis direct donne une moyenne de  $37.07 \pm 14.70$  q/ha. D'après la figure III-11 on remarque que sur le précédent pois fourrager pour les deux systèmes de culture, la culture produit plus de biomasse aérienne comparativement aux deux autres précédents, avec des moyennes de 57.84 q/ha et 40.22 q/ha, respectivement pour le labour conventionnel et le semis direct. Cette supériorité est due à l'enrichissement du sol en azote par cette culture. Selon Mossedaq et Moughli (1999), les quantités d'azotes apportés par l'introduction d'une espèce fixatrice d'azote dans une rotation affectent très fortement la production de biomasse de la culture qui suit.



**Figure III-11 :** Variation du rendement en biomasse aérienne en relation avec le système de culture et le type du précédent.

On observe que la variabilité dans le système de semis direct est faible par rapport à un travail du sol conventionnel, avec une valeur de 14.70 et 18.44 respectivement pour le semis direct et le labour (Fig. III-11).

Les résultats de notre étude sont en accord avec ceux obtenus par Belagrouz (2013). Cid *et al.* (2014), ont indiqué qu'à maturité, les parcelles de non labour avec un lit de plantation permanent réduit la biomasse totale des plantes, comparativement à un labour conventionnel avec un lit de plantation permanent, ces mêmes auteurs expliquent que ces différences ont très probablement eu lieu avant le remplissage des grains en association avec un stress hydrique ou minéral. Das *et al.* (2014), trouvent que la biomasse est significativement élevée sous le travail conventionnel que dans le cas du travail minimum.

Ouanzar (2012), observe que l'accumulation de la biomasse aérienne, au cours du cycle, est significativement plus élevée sous travail minimum et en semis direct, comparativement au travail conventionnel durant la campagne 2010-2011.

Djaidjaa (2013) et Huang *et al.* (2012), ne trouvent pas de différence significative entre les deux systèmes. Pour Hannachi et Fellahi (2010), le semis conventionnel produit plus de biomasse aérienne que le semis direct, mais il est égalisé par le semis direct avec 60 % de couvert végétal. L'accumulation de la biomasse aérienne de maïs est similaire dans le travail

du sol et le travail du sol superficiel mais elle est faible sous le semis direct durant deux années (Trevini *et al.*, 2013).

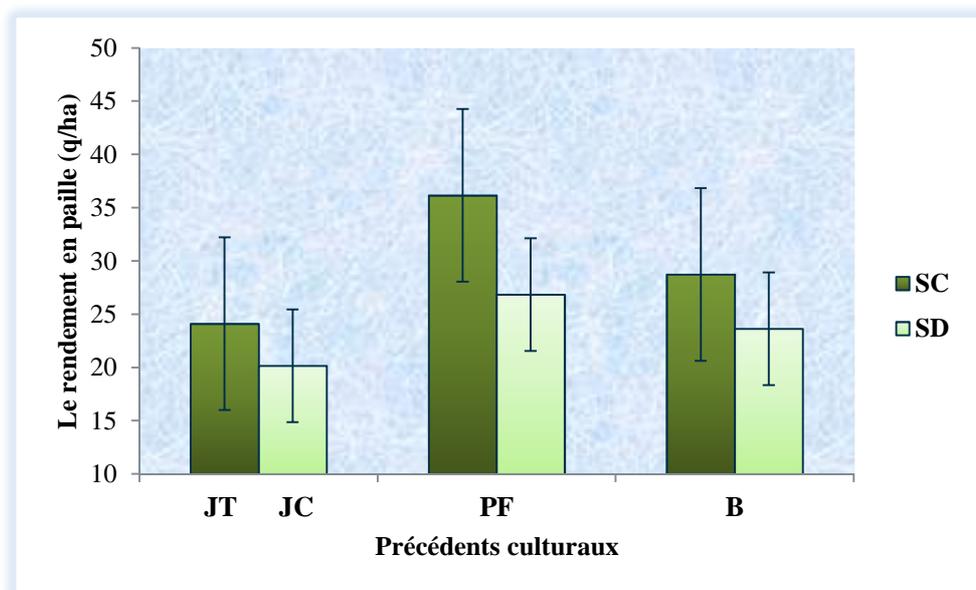
Au contraire Touahria (2012) et Makhoulf *et al.* (2011), montrent que le non labour présente aussi un avantage significatif, pour la biomasse aérienne. Dans les années sèches, la biomasse de blé sous le non labour est significativement élevée que les autres systèmes car le semis direct garde plus d'eau que le travail conventionnel (Hemmat et Eskandari, 2006).

Fortas *et al.*, (2013), observent que le semis direct est moins performant pour la biomasse aérienne que les autres systèmes de culture (TCS et TC). Cependant Yamagishi *et al.* (2003), trouvent que la biomasse de blé et de maïs pendant trois ans était élevée sous le travail du sol superficiel que dans le cas du système conventionnel, à l'exception de la campagne 1999-2000 pour la culture de maïs.

### 2.2.3. Le rendement en paille

Les résultats de l'analyse de la variance du rendement en paille (PLL) en Tableau III-2 ne présentent aucune différence significative ni pour le mode de semis, ni pour le précédent, et même pour l'interaction système x précédent (F1xF2).

L'étude des valeurs moyenne indique que le système conventionnel marque la valeur la plus élevée avec  $29.66 \pm 8.10$  q/ha, alors que le semis direct enregistre une valeur de  $23.54 \pm 5.29$  q/ha.



**Figure III-12 :** Variation du rendement en paille en relation avec le système de culture et le type du précédent.

Selon la figure III-12 sur le précédent pois fourrager pour les deux systèmes de culture, la culture produit plus de paille comparativement aux deux autres précédents, avec des moyennes de 36.15 et 26.83 q/ha (Fig. III-12), respectivement pour le labour conventionnel et le semis direct. L'écart type dans le cas du semis direct est faible par rapport à un travail conventionnel avec une valeur de 5.29 et 8.10 respectivement pour le semis direct et le travail du sol conventionnel (Fig. III-12).

Les résultats de la présente étude corroborent ceux obtenus par Djaidjaa (2013), d'après Malhi et Lemkeb (2007), les systèmes de culture n'affectent pas le rendement en paille de pois en 2003. Cependant ces résultats vont à l'encontre avec ceux obtenus par Touahria (2012), qui trouve que la paille produite est significativement plus élevée en non labour comparativement au labour conventionnel.

D'après Malhi *et al.* (2006), en 2001, le non labour produit plus de paille pour le canola avec une augmentation de 32 % comparativement à un travail conventionnel.

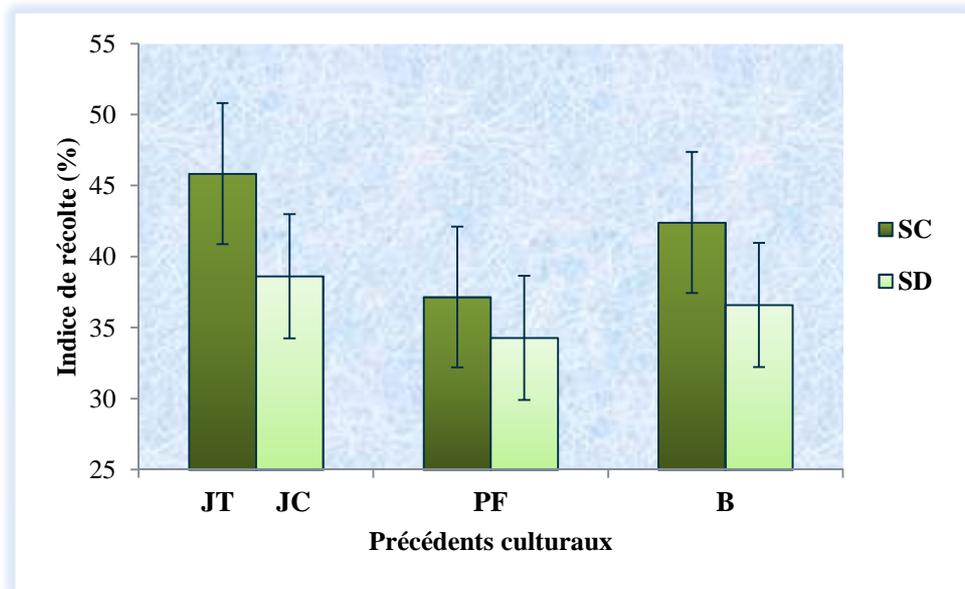
#### **2.2.4. L'indice de récolte**

Certains auteurs ont proposé une efficacité de la production grain comme un indice, cet indice est nommé « coefficient de migration », ce coefficient de migration des céréales est défini par la proportion de la matière sèche de la plante entière à l'exception des racines, et qui est accumulée dans le grain, ce coefficient de migration est maintenant largement connu par l'indice de récolte (Donald, 1962).

Les résultats de l'analyse de la variance de l'indice de récolte portés en Tableau III-2 révèlent une différence significative entre les modes de semis, tandis que les précédents et l'interaction système x précédent ( $F1 \times F2$ ) n'ont montré aucune différence.

L'étude des moyennes indique un avantage marqué pour le travail conventionnel avec une moyenne de  $41.80 \pm 4.96$  %. Par contre le semis direct affiche une valeur de  $36.50 \pm 4.38$  %.

Dans le système conventionnel, le précédent jachère travaillée a marqué la valeur la plus élevée qui est de 45.84 % (Fig. III-13). Alors que le précédent jachère chimique dans le semis direct donne une valeur de 38.62 % qui reste toujours la plus élevée (Fig. III-13).



**Figure III-13 :** Variation de l'indice de récolte en relation avec le système de culture et le type du précédent.

Les valeurs de l'écart type sont presque similaires pour les deux systèmes de culture mais elles sont réduites dans le sol non labouré (4.38) que dans le cas du sol labouré (4.96) (Fig. III-13).

Les résultats de la présente étude sont similaires à ceux de Djaidjaa (2013). Les techniques de travail du sol de conservation présentent des valeurs faibles que le système conventionnel (Santín-Montanya et al., 2014) ). D'après Prihar et Stewart (1990), Il ya une forte inférence pour l'indice de récolte à augmenter avec l'augmentation de rendements totaux et la diminution des contraintes tels que le stress hydrique et l'insuffisance des nutriments.

Touahria (2012), trouve que la différence est non significative de l'indice de récolte, entre les deux systèmes. Par contre, selon Kato *et al.* (2007), le mulching augmente l'indice de récolte.

## 2.3. Caractères morpho-physiologiques

**Tableau III-3 :** Résultats de l'analyse de la variance de la teneur relative en eau (TRE), la teneur en chlorophylle (Chloro.), et la surface foliaire pour les différents traitements.

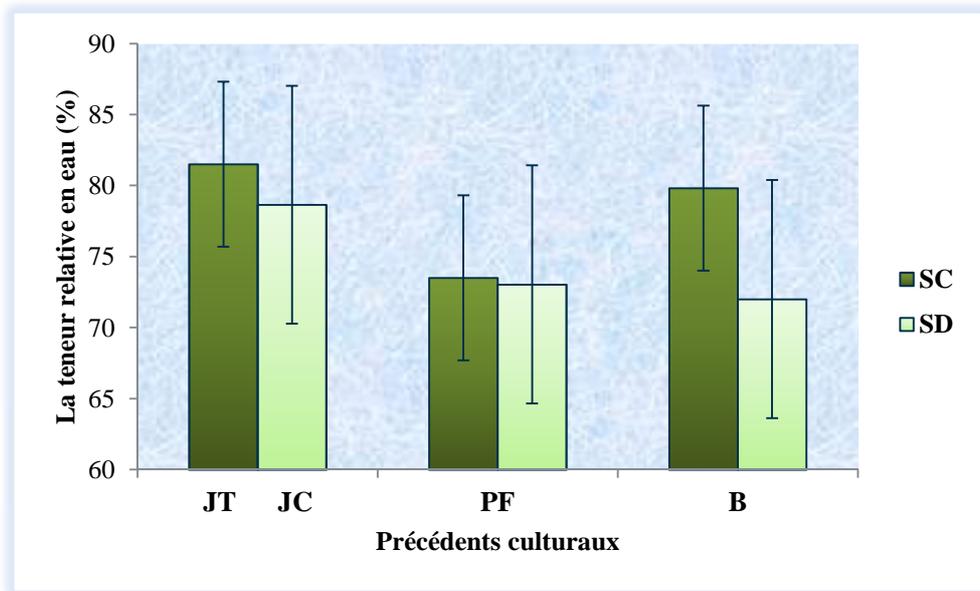
S.variation	ddl	TRE	Chloro.	SF
Pratiques culturales (F1)	1	62.04 <sup>ns</sup>	3.29 <sup>ns</sup>	9.47 <sup>ns</sup>
Précédent (F2)	2	70.70 <sup>ns</sup>	1.11 <sup>ns</sup>	0.18 <sup>ns</sup>
Interaction F1*F2	2	21.07 <sup>ns</sup>	2.48 <sup>ns</sup>	1.02 <sup>ns</sup>
Erreur	12	54.02	4.42	4.10
CV%		9.62	6.22	24.87
PPDS 5%		/	/	/

ns, \*, \*\* = effet non significatif, significatif au seuil de 5, 1 % respectivement, ddl : degré de liberté, CV : coefficient de variation (%), PPDS : Plus Petite Différence Significative au seuil de 5%, TRE : teneur relative en eau (%), Chloro. : teneur en chlorophylle (SPAD), SF : surface foliaire (cm<sup>2</sup>).

### 2.3.1. La teneur relative en eau (TRE %)

La teneur relative en eau, qui exprime en pourcentage la teneur en eau de l'eau turgescent dans le tissu végétal, est une méthode largement acceptée d'exprimer l'état de l'équilibre hydrique d'une plante (Slatyer et Barrs, 1965 ; Bayer, 1969 ; Slavik, 1974). La teneur relative en eau au niveau de la plante peut varier entre 68 % et 84 % dans les bonnes conditions hydriques, et de 45 % à 63 % en présence d'un déficit hydrique (Sabour, 1995).

L'analyse de la variance de la teneur relative en eau (TRE %) consignée en Tableau III-3, ne montre aucune différence significative ni pour les pratiques culturales, ni pour le précédent et ni pour l'interaction système x précédent (F1xF2).



**Figure III-14 :** Variation de la teneur relative en eau en relation avec le système de culture et le type du précédent.

L'étude des moyennes indique que le labour conventionnel maintient un meilleur état hydrique des feuilles au stade épiaison, avec une moyenne de  $78.28 \pm 5.81$  % suivi par le non labour avec une moyenne de  $74.57 \pm 8.38$  %. Expriment que la plante est plus stressée en milieu non perturbé. Malgré que dans la présente étude et plus particulièrement durant ce stade le SD présente un peu de confort hydrique avec une moyenne de  $10.84$  %, comparativement au traitement en TC avec une moyenne de  $8.11$  %. On observe que le précédent jachère travaillée dans le système conventionnel a donné la valeur la plus importante de TRE avec une moyenne de  $81.51$  % (Fig. III-14). C'est pareil pour le semis direct dont le précédent jachère chimique a offert la valeur la plus importante de TRE avec une moyenne de  $78.65$  % (Fig. III-14).

La variabilité dans le système conventionnel est réduite par rapport à un sol non perturbé, avec un écart type de  $5.81$  et  $8.38$  respectivement pour le travail conventionnel et le semis direct (Fig. III-14).

Les résultats de la présente étude sont similaires à ceux obtenus par Belagrouz (2013), qui trouve que les valeurs mesurées de la TRE indiquent que  $TC > TM > SD$ . Ainsi que les résultats obtenus par Hannachi et Fellahi (2010) et Touahria (2012), suggèrent que le couvert réduit les effets du stress hydrique relativement au semis direct sans résidus, comme ils

indiquent aussi que le TC suite à son statut hydrique plus important, est moins soumis au stress hydrique.

Kabakci *et al.* (1993), indiquent que la teneur relative en eau dans la feuille drapeau est faible lorsque les résidus ne sont pas retirés.

Une explication partielle sur les plantes stressées en semis direct que le système conventionnel malgré que le statut hydrique du semis direct soit plus important. Ce stress peut être dû à la forte présence des plantes adventices qui ont exercé une forte concurrence sur les plans de l'alimentation hydrique et minérale vis-à-vis de la culture. Ainsi qu'on peut ajouter que dans le système de semis direct les plantes n'arrivent pas à épuiser efficacement de l'eau que dans le cas du labour conventionnel. D'après Turner (1986), le maintien d'un potentiel hydrique élevé est lié à l'aptitude à extraire l'eau du sol et à la capacité à limiter les pertes d'eau par transpiration.

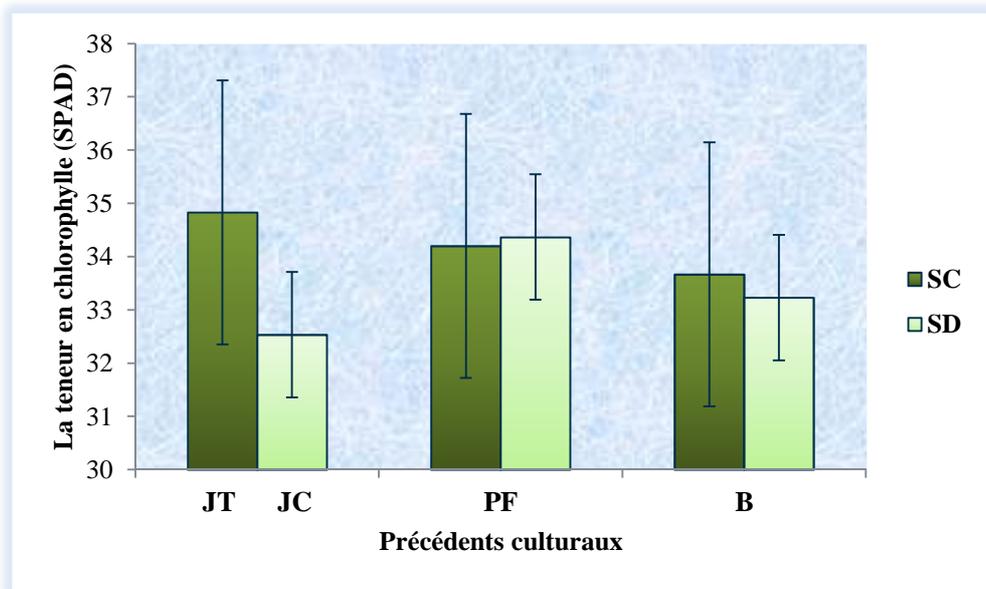
Une petite diminution de la teneur en eau, due à une dégradation du bilan hydrique, se traduit alors par une forte diminution du potentiel de turgescence (Urban et Urban, 2010). Le maintien d'un niveau élevé de la TRE serait probablement lié à une bonne capacité d'ajustement osmotique permettant la préservation de l'intégrité structurale et fonctionnelle des tissus (Blum, 1988).

Par contre les résultats de notre étude contrastent ceux obtenus par Djaidjaa (2013), et suggèrent que le système semis direct est moins soumis au stress hydrique comparativement au conventionnel. Debashis *et al.*, (2008) mentionnent que le paillage maintient un bon état hydrique des plantes.

### **2.2.2. La teneur en chlorophylle**

La chlorophylle est un pigment de feuilles très important pour absorber le rayonnement pour la photosynthèse (Peng et Gitelson, 2011). La quantité de la chlorophylle conditionne l'efficacité de la photosynthèse et celle-ci conditionne le reste du métabolisme par sa fonction de producteur primaire (Guerif et King, 2007).

L'analyse de la variance pour ce paramètre citée en Tableau III-3 montre une différence non significative entre les modes de travail du sol, les précédents culturaux et l'interaction système x précédent (F1xF2).



**Figure III-15 :** Variation de la teneur relative en chlorophylle avec le système de culture et le type du précédent.

Le travail conventionnel indique une valeur de  $34.23 \pm 2.48$  SPAD, alors que le semis direct a une valeur de  $33.38 \pm 1.18$  SPAD. D'après la figure III-15 le précédent jachère travaillée du labour conventionnel présente la valeur la plus élevée que les autres précédents. Mais dans le semis direct c'est sur le précédent pois fourrager que le blé donne une teneur en chlorophylle élevée (Fig. III-15). Plusieurs recherches indiquent une corrélation entre le statut d'azote et les valeurs de la chlorophylle (SPAD) (Varvel *et al.*, 1997 ; Bullock *et Anderson*, 1998 ; Vetsch *et Randall*, 2004 ; Ma *et al.*, 2007).

Le taux de la variabilité dans le cas du semis direct est réduit avec une valeur de l'écart type de 1.18 par rapport au travail du sol conventionnel dont la valeur de l'écart type est de 2.48 (Fig. III-15).

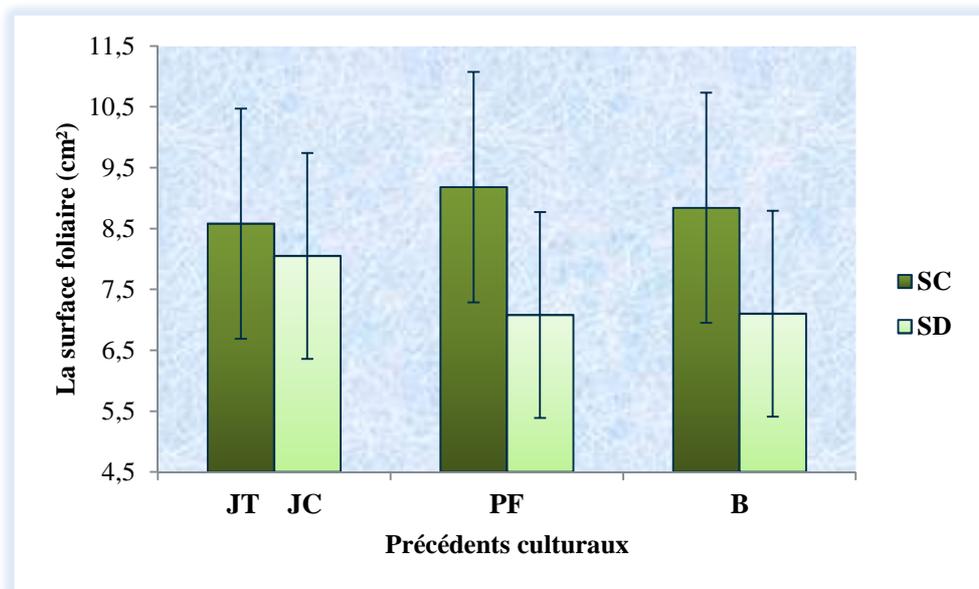
Les résultats de la présente étude corroborent ceux de Liu et Wiatrak (2012), qui montrent également que les systèmes de travail du sol n'ont eu aucun effet significatif sur la chlorophylle (SPAD) en moyenne dans les taux d'azote (N).

### 2.2.3. La surface foliaire

La surface foliaire des plantes est un important déterminant de l'interception de la lumière, la photosynthèse, la transpiration, et la productivité (Goudriaan et Van Laar, 1994). Des mesures précises de la surface foliaire sont essentielles pour comprendre l'interaction entre la croissance des cultures et l'environnement (de Jésus *et al.*, 2001).

L'analyse de la variance de la surface foliaire de la feuille étandard consignée en Tableau III-3 montre que les modes de semis, les précédents culturaux et l'interaction système x précédent (F1xF2) n'ont aucun effet significatif.

L'étude des moyennes indique que la surface foliaire de la feuille étandard en travail conventionnel est importante que dans le semis direct, avec une moyenne de  $8.86 \pm 1.89 \text{ cm}^2$  et de  $7.41 \pm 1.69 \text{ cm}^2$ , respectivement pour le système conventionnel et le semis direct.



**Figure III-16 :** Variation de la surface foliaire (cm<sup>2</sup>) en relation avec le système de culture et le type du précédent.

Concernant le travail conventionnel, le précédent pois fourrager marque une valeur de la surface foliaire de la feuille étandard la plus élevée que les autres précédents avec une moyenne de  $9.18 \text{ cm}^2$  (Fig. III-16). Le précédent jachère chimique a montré la valeur la plus élevée qui est de  $8.05 \text{ cm}^2$  pour le semis direct (Fig. III-16). Les valeurs de l'écart type sont presque voisines pour les deux systèmes de culture mais sont réduites dans le sol non labouré (1.69) que dans le cas du sol labouré (1.89) (Fig. III-16).

Wilhelm (1998), dans les États-Unis en 1980, trouve que dans un sol non labouré l'indice de la surface foliaire est faible que dans les autres traitements. Selon Li *et al.* (2008) l'indice de la surface foliaire est faible dans le cas du non labour que dans le cas du travail conventionnel.

Pour Karunatilake *et al.* (2000), l'indice de la surface foliaire est faible dans le cas du travail du sol avec charrue qu'avec le non labour pendant 1993.

Les valeurs de la présente étude sont relativement plus basses par rapport aux années passées. La diminution de la productivité des plantes en déficit hydrique est due au fait que ces dernières, en réduisant leur croissance, diminuent leurs surfaces foliaires, ce qui a pour conséquence une diminution de la capacité photosynthétique de la plante entière (Steduto *et al.*, 2000). Cela conduit à une limitation du transfert des assimilés des feuilles vers les épis et réduit, en conséquence, le remplissage des grains (Ricards, 1983 ; Khaldoun *et al.*, 1990 ; Benlaribi *et al.*, 1992).

### 3. Comportement du sol sous les différentes pratiques culturales

#### 3.1. L'évolution de l'humidité du sol au cours du cycle de la culture

Le stock de l'eau du sol est une importante source d'eau au cours de la période de la croissance de blé d'hiver (Zhou, 1995). L'humidité du sol contribue à la diversité et la composition des végétaux (Coll *et al.*, 2003 ; Svoray *et al.*, 2007), il est intéressant de noter que la disponibilité de l'humidité du sol durant le début de cycle détermine la densité des plantes qui est le stade de croissance le plus critique déterminant le rendement grain (Mkhabela et Mashinini, 2005).

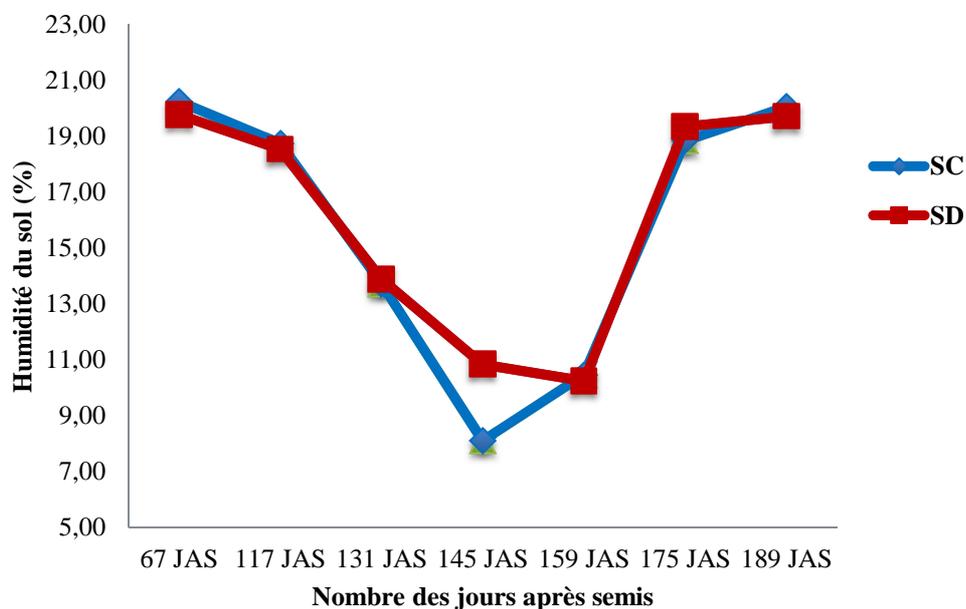
**Tableau III-4 :** Résultats de l'analyse de la variance de l'état de l'humidité du sol en (%) par rapport au précédent cultural et au mode de semis.

<b>s.variation</b>	<b>ddl</b>	<b>67 JAS</b>	<b>117 JAS</b>	<b>131 JAS</b>	<b>145 JAS</b>	<b>159 JAS</b>	<b>175 JAS</b>	<b>189 JAS</b>
<b>Pratiques culturales (F1)</b>	1	1.02 <sup>ns</sup>	0.18 <sup>ns</sup>	0.13 <sup>ns</sup>	33.54 <sup>ns</sup>	0.24 <sup>ns</sup>	1.22 <sup>ns</sup>	0.55 <sup>ns</sup>
<b>Précédent (F2)</b>	2	0.10 <sup>ns</sup>	6.10 <sup>ns</sup>	0.70 <sup>ns</sup>	7.85 <sup>ns</sup>	0.20 <sup>ns</sup>	29.45 <sup>ns</sup>	1.76 <sup>ns</sup>
<b>Interaction F1*F2</b>	2	0.12 <sup>ns</sup>	0.41 <sup>ns</sup>	0.08 <sup>ns</sup>	5.83 <sup>ns</sup>	0.41 <sup>ns</sup>	19.31 <sup>ns</sup>	0.29 <sup>ns</sup>
<b>Erreur</b>	12	0.96	0.61	0.68	47.56	0.70	18.60	0.95
<b>CV%</b>		4.91	4.18	5.97	72.81	8.09	22.60	4.91
<b>PPDS 5%</b>		/	/	/	/	/	/	/

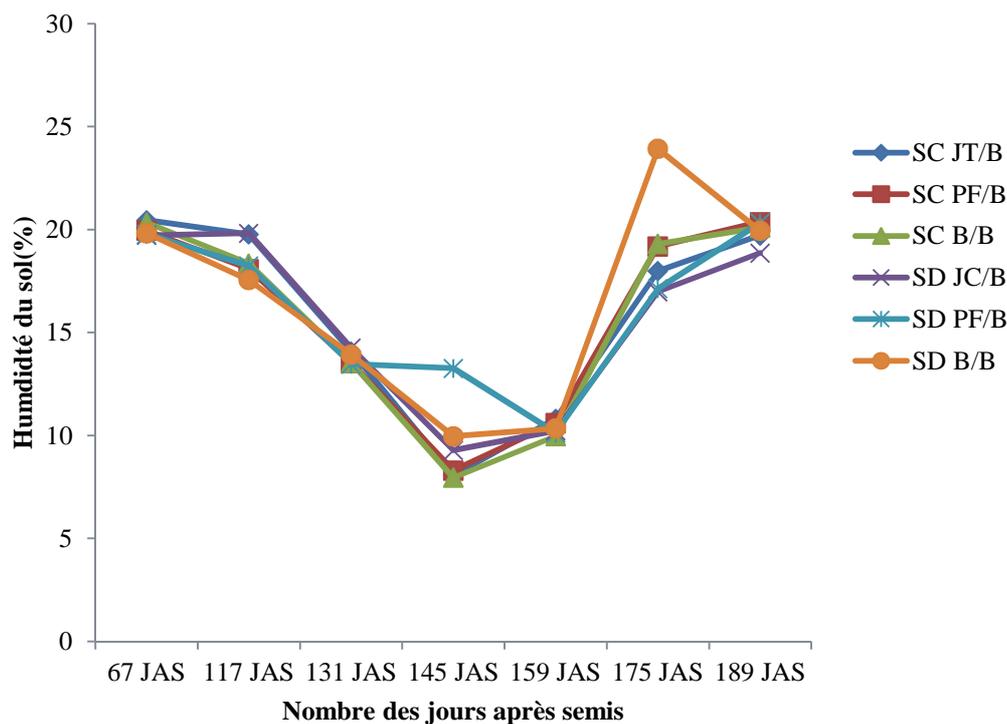
ns, \*, \*\* = effet non significatif, significatif au seuil de 5, 1 % respectivement, ddl : degré de liberté, JAS : jours après semi, CV : coefficient de variation (%), PPDS : Plus Petite Différence Significative au seuil de 5%. 67 JAS : correspond au stade levée, 117 JAS : correspond au stade montaison, 145 JAS : correspond au stade épiaison, 189 JAS : correspond au stade maturité physiologique

L'analyse de la variance de l'état de l'humidité du sol en (%) mentionnée en Tableau III-4 ne présente aucune différence significative entre les deux modes de pratiques culturales pour les sept 07 dates de prélèvements effectués. Concernant les précédents culturaux il n'y a pas de différence significative entre les précédents que pour la date 117 JAS dans le cas du sol non labouré, où il y'a une différence hautement significative dont l'avantage est marqué pour la jachère chimique. Ces conséquences ont été liées à la jachère introduite dans le système de rotation dans les zones semi-arides et qui ont amélioré les indices de la fertilité des sols (Saber et Mrabet, 2002b). La fonction de la jachère est le stockage de l'eau pour la culture de

céréales qui suit (Kribaa *et al.*, 2001 ; Lahmar et Bouzerzour, 2011). L'interaction système x précédent (F1xF2) ne présente aucune signification pour les sept dates de prélèvement. Les résultats de la présente étude corroborent ceux de Djaidjaa (2013) dans le même site d'étude. Malhi et O'sullivan (1990), ont indiqué dans une expérimentation de cinq ans à l'exception de 1981, qu'il y avait pas de différences dans l'humidité du sol entre les deux systèmes de travail du sol. Selon Licht et Al-Kaisi (2005), l'humidité du sol sur le site **Nashua** en 2002 n'était pas significativement différente pour toutes les techniques culturales à n'importe quelle période.



**Figure III-17 :** Cinétique d'évolution de l'humidité du sol sous le semis direct et le système conventionnel.



**Figure III-18 :** Variation de l'humidité du sol en relation avec le précédent cultural et les dates de prélèvement pour les deux techniques culturales.

Selon la figure III-17, le taux d'humidité atteint son maximum au niveau de la première date (67 JAS) pour les deux systèmes de culture. A propos, le travail conventionnel a atteint la valeur de 20.46 % avec le précédent jachère travaillée (Fig. III-18), 19.95 % avec le précédent pois fourrager et 20.33 % pour le précédent blé (Fig. III-18) ; alors que pour le semis direct il a atteint la valeur de 19.72 % avec le précédent jachère chimique (Fig. III-18), 19.77 % avec le précédent pois fourrager et 19.82 % avec le précédent blé (Fig. III-18).

L'humidité du sol diminue progressivement jusqu'à la date 145 JAS où elle atteint sa basse valeur pour les deux pratiques culturales, elle est de 8.11 % pour le travail conventionnel et de 10.84 % pour le semis direct. Dans le travail conventionnel elle a atteint la valeur de 8.07 % avec le précédent jachère travaillée, 8.30 % avec le précédent pois fourrager et 7.95 % avec le précédent blé ; alors que pour le semis direct elle a atteint la valeur de 9.28 % avec le précédent jachère chimique, 13.26 % avec le précédent pois fourrager et 9.97 % avec le précédent blé. Dès la date 159 JAS l'humidité du sol augmente suite aux pluies enregistrées tardivement (Fig. III-17).

On observe du début à la fin du cycle de la culture que le labour conventionnel garde plus d'humidité que le semis direct (67 JAS, 117 JAS, et 189 JAS) (Fig. III-17).

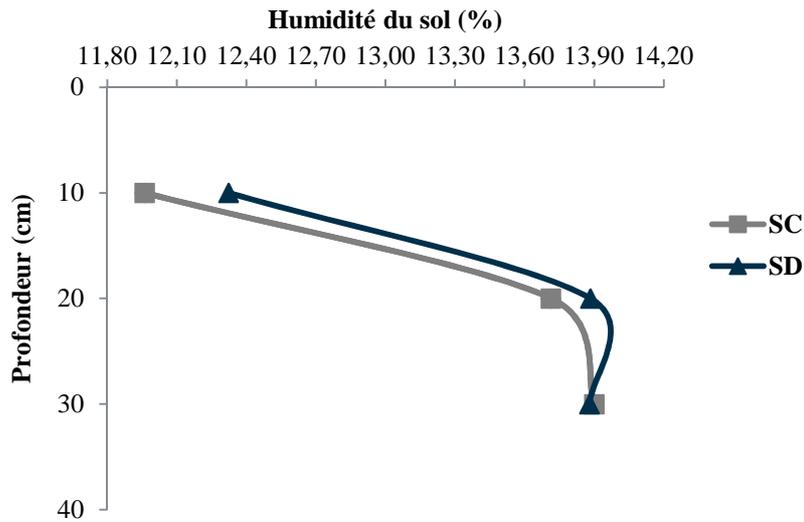
Certains auteurs trouvent des résultats similaires tels que Lopez *et al.* (1996) qui ont indiqué que la teneur en eau du sol est faible dans le cas du non labour que dans le cas du labour conventionnel en deux saisons de culture. Choudhary *et al.* (2013), ont trouvé dans une expérimentation réalisée durant la campagne (2009-2010) que le travail du sol conventionnel a conservé plus d'humidité du sol au début, mais à long terme l'humidité du sol la plus élevée a été enregistré dans le cas de zéro labour sur toutes les profondeurs du sol. Ces auteurs ont expliqué ça par le placement des résidus et des modifications de l'aspect de surface des terres qui ont amélioré le taux d'infiltration.

Pour la dernière date de prélèvement (189 JAS) qui coïncide avec la maturité le TC garde un peu plus d'humidité que le semis direct suite aux fortes précipitations enregistrées durant cette période.

On remarque que la variabilité est faible dans le cas du semis direct que dans le cas du travail du sol conventionnel dans les deux dates suivantes (67 JAS et 159 JAS).

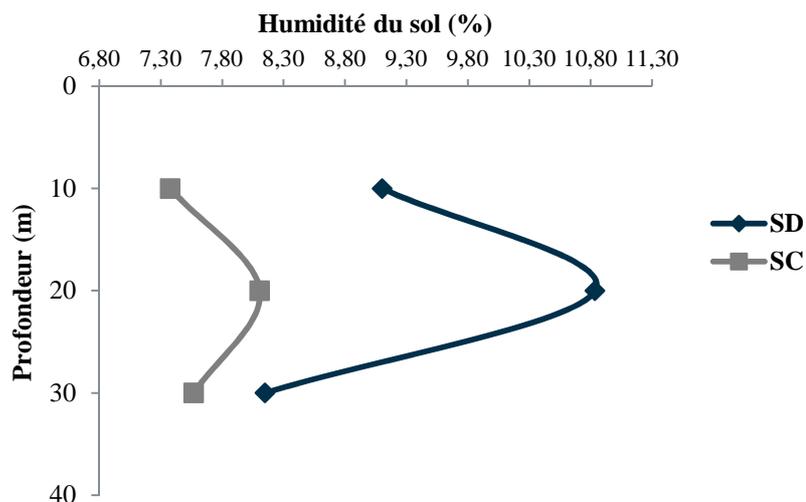
Le suivi de l'évolution de l'humidité du sol montre que le semis direct garde plus d'humidité au milieu et à la fin du cycle de la culture (Fig. III-17). Ainsi, on révèle qu'en période sèche le système SD laisse plus d'humidité dans le sol dans les quatre dates suivantes : 131 JAS, 145 JAS, 159 JAS et 175 JAS (Fig. III-17). Cela a été présenté au niveau de la deuxième profondeur. Bhatt et Khera (2006), ont trouvé que l'humidité du sol est plus élevée dans les profondeurs 0-15 cm et 15-30 cm de sol respectivement sous travail minimum que travail conventionnel.

Les figures ci-dessous présentent l'état d'humidité du sol dans les deux systèmes de culture (le travail du sol conventionnel (TC) et le semis direct (SD) au niveau des trois profondeurs (0-10 cm), (10-20 cm) et (20-30 cm) pour les quatre dates caractéristiques.



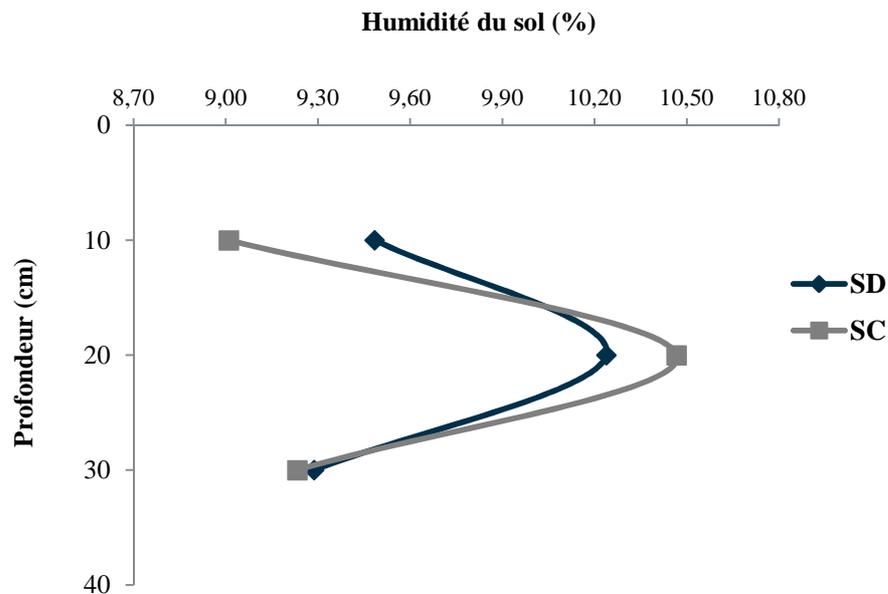
**Figure III-19 :** Humidité du sol dans les trois profondeurs pour la date 131JAS.

Selon la figure III-19 pour la date 131 JAS on remarque qu'il n' y'a pas de différence significative de l'humidité du sol au niveau de la première profondeur, cependant, dans le semis direct l'humidité du sol est élevée que dans le labour conventionnel. C'est pareil pour la deuxième profondeur où le semis direct garde plus d'humidité. Mais au niveau de la troisième profondeur il n' y'a aucun effet significatif et l'humidité du sol est presque la même pour les deux systèmes de culture.



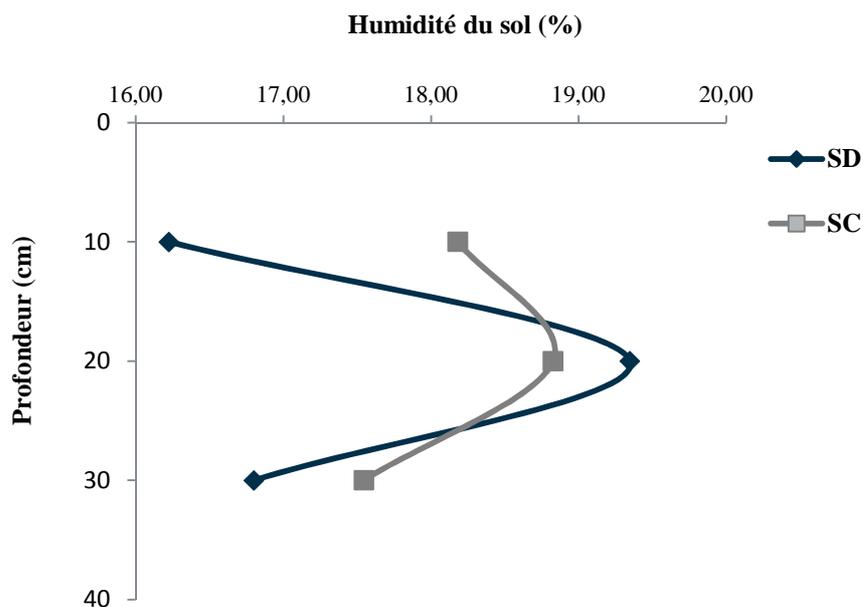
**Figure III-20 :** Humidité du sol dans les trois profondeurs pour la date 145 JAS.

Pour la date 145 JAS, l'analyse de la variance montre qu'au niveau de la première profondeur l'humidité du sol est significativement élevée dans le semis direct avec une moyenne de 9.10 % et une moyenne de 7.38 % pour le travail du sol conventionnel (Fig. III-20). Pour la deuxième et la troisième profondeur l'humidité du sol n'affiche aucun effet du système et le semis direct garde également plus d'humidité que le labour (Fig. III-20).



**Figure III-21 :** Humidité du sol dans les trois profondeurs pour la date 159 JAS.

L'analyse de la variance pour la date 159 JAS montre qu'il n'existe pas de différence significative entre le labour et le non labour dans les trois profondeurs (0-30 cm). Mais l'humidité du sol est élevée dans le cas du non labour pour la première et la troisième profondeur seulement (Fig. III-21). Alors que pour la deuxième profondeur le labour garde un peu plus d'humidité que le semis direct (Fig. III-21) grâce à l'augmentation de l'infiltration de l'eau dans le labour conventionnel.



**Figure III-22 :** Humidité du sol dans les trois profondeurs pour la date 175 JAS.

Pour la date 175 JAS on remarque qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux pratiques culturales. Dans la première et la troisième profondeur l'humidité du sol est élevée dans le système conventionnel que dans le semis direct (Fig. III-22). Ceci peut être expliqué suite aux précipitations reçues durant cette période.

L'humidité du sol est faible dans la première profondeur (Fig. III-22) elle peut être due à la consommation de l'eau par les racines des plantes cultivées et aussi grâce à l'existence des plantes adventices qui concurrencent les plantes cultivées pour l'eau. Mais on remarque que le semis direct garde plus d'humidité dans la deuxième profondeur (Fig. III-22).

Dans les figures présentées ci-dessus on remarque que le taux d'humidité du sol dans la deuxième profondeur (10-20 cm) est élevé que les deux autres couches ce qui est due à l'infiltration de l'eau. Aussi à cause de l'utilisation et l'absorption de l'eau par le système racinaire à la surface du sol (Choudhary *et al.*, 2013). En général, l'humidité du sol est élevée en couches sub-superficielles (15–30 cm et 30–45 cm) que dans les couches superficielles pour tous les traitements (Kuotsu *et al.*, 2014).

Pour les dates (131JAS, 145 JAS, et 159 JAS), la couche superficielle du sol est plus humide dans le cas du semis direct que dans le travail conventionnel. Ceci peut être due à la présence

du mulch à la surface du sol dans le cas du non labour ou bien on peut expliquer ça par ce que dans le cas du travail conventionnel les plantes ont épuisés plus d'eau que les plantes dans le semis direct de et cela influe sur la fertilité épi, la teneur relative en eau et le rendement grain qui sont faibles dans le cas du non labour que dans le travail conventionnel (l'évaluation de la TRE et le nombre d'épis synchronise avec la mesure de l'humidité du sol dans la date 145 JAS), donc la teneur faible en eau du sol dans le système conventionnel est due à l'action de l'atmosphère (par évaporation) et l'action des plantes (extraction de l'eau).

Ces résultats sont en accord avec Salem *et al.* (2014), qui ont indiqué dans une expérimentation réalisée en printemps 2013, dans n'importe qu'elle période d'observation le zéro labour a la teneur en eau potentielle la plus élevée dans les deux profondeurs (20 et 40 cm). Par contre Touahria (2012), a trouvé que l'eau est mieux utilisé dans le cas du non labour produisant du grain et de la biomasse chez la céréale comparativement à celle conduite en labour conventionnel. D'après Moitra *et al.* (1996) sous le non labour, la continuité capillaire était moins perturbée et cela a abouti à une plus grande consommation d'eau du sous-sol à l'emplacement d'évaporation que sous TC.

L'humidité du sol est importante dans les couches superficielles en sol non labouré avec le mulch des résidus de culture que dans le travail conventionnel sans le mulch des résidus. Ceci a été également observé par plusieurs auteurs (Karlen *et al.*, 1994 ; De Vita *et al.*, 2007b ; Govaerts *et al.*, 2007 ; Gruber *et al.*, 2011 ; Sharma *et al.*, 2011).

La teneur en eau plus élevée dans le sol en cas de zéro labour confirme que les résidus de culture conservent plus de précipitations hivernales que dans le cas des champs labourés (Jones *et al.*, 1969 ; Blevins *et al.*, 1971 ; Lindwall et Anderson, 1981). D'après Govaerts *et al.* (2007), pendant 11 ans d'expérimentation, plus d'humidité du sol est accumulée avec la profondeur et avec les résidus que sans résidus de culture sous le zéro labour (ZL) dont le ZL avec des résidus avait la plus forte teneur en humidité pendant la floraison.

La conservation de l'humidité du sol est principalement attribuée à évaporation réduite, ainsi que de l'augmentation de l'infiltration (Gupa et Gupta, 1986 ; Salem *et al.*, 2014). Unger (1978) a montré que le mulch sur la surface du sol a augmenté le nombre de jours humides.

Beaucoup d'études réalisées en Algérie qui ont amplement rapporté que les techniques de conservation basées sur le semis direct augmentent le taux d'humidité dans le sol par rapport aux techniques conventionnelles (Abdellaoui *et al.*, 2006 ; Abdellaoui *et al.*, 2011 ; Makhlof *et al.*, 2011 ; Belagrouz, 2013).

D'après Jemai *et al.* (2013) en Tunisie, dans une expérimentation de trois ans et de sept ans de non labour, l'humidité du sol est significativement élevée sous le non labour que le travail conventionnel dans les différentes profondeurs du sol.

D'après He *et al.* (2011), 11 ans d'expérience signifient que le stockage de l'eau du sol dans le cas du non labour dans une profondeur de 0-30 cm a été de 7.6 % plus important que sur le travail du sol classique.

### 3.2. La densité apparente

La densité apparente est une caractéristique principale qui affecte les fonctions du sol telles que : la capacité de rétention de l'eau, l'infiltration de l'eau, l'aération et facilite la germination des grains et la croissance des racines (Mora et Lázaro, 2014). La densité apparente est liée à la nature et à l'organisation des constituants du sol (Chawel, 1977). La densité apparente du sol est une première approximation de potentiel des changements dans la structure du sol avec une meilleure gestion (Arshad *et al.*, 1999).

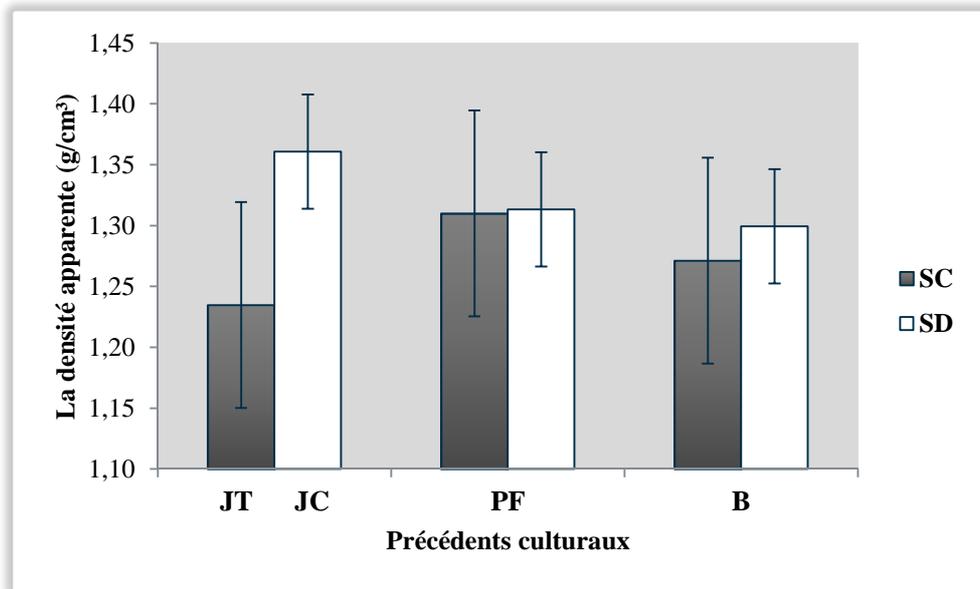
**Tableau III-5 :** Résultats de l'analyse de la variance de la densité apparente du sol en ( $\text{g.cm}^{-3}$ ) par rapport au précédent cultural et au mode de semis.

S. variation	ddl	Da ( $\text{g.cm}^{-3}$ )
Pratiques culturales (F1)	1	0.01 <sup>ns</sup>
Précédents (F2)	2	0.001 <sup>ns</sup>
Interaction F1*F2	2	0.01 <sup>ns</sup>
Erreur	12	0.01
CV%		5.45
PPDS 5%		/

ns, \*, \*\* = effet non significatif, significatif au seuil de 5, 1 % respectivement, ddl : degré de liberté, CV : coefficient de variation (%), PPDS : Plus Petite Différence Significative au seuil de 5%, Da : densité apparente ( $\text{g.m}^{-3}$ ).

Au cours de la campagne de notre étude 2013/2014, ce paramètre a été mesuré à 178 JAS (08/06/2014). L'analyse de la variance mentionnée en Tableau III-5 ne présente aucune différence significative entre les deux modes de semis, ni pour les précédents, ni pour l'interaction système x précédent (F1xF2).

L'étude des moyennes montre que le semis direct affiche la valeur la plus élevée que le travail conventionnel, ces valeurs moyennes sont de  $1.32 \pm 0.05 \text{ g.cm}^{-3}$  et de  $1.27 \pm 0.08 \text{ g.cm}^{-3}$  respectivement pour le SD et le TC.



**Figure III-23 :** Variation de la densité apparente du sol en relation avec le mode de semis et le type du précédent.

Dans le système labouré, la densité apparente est plus élevée suite à un précédent pois fourrager avec une valeur de  $1.31 \text{ g.cm}^{-3}$  (Fig. III-23). Dans le système de conservation du sol, la densité apparente est plus élevée avec le précédent jachère chimique avec une valeur de  $1.36 \text{ g.cm}^{-3}$  (Fig. III-23).

On remarque que la variabilité de la densité apparente sous le système SD est faible comparativement au travail conventionnel, l'écart type dans le semis direct est de 0.05, alors que dans le système conventionnel est de 0.08 (Fig. III-23). On peut dire qu'il y'a une sorte de stabilité dans le semis direct que dans le cas du sol labouré conventionnellement.

Dans le même site d'étude Djaidjaa (2013), trouve qu'il y'a une différence significative entre les deux modes de semis et en conditions de non perturbation la valeur moyenne est la plus élevée. Dans la présente étude la densité apparente n'affiche aucune signification entre les

deux modes de semis. Les valeurs moyennes obtenues dans notre étude ont connu une diminution que les valeurs moyennes de Djaidjaa (2013). On peut dire que le semis direct acquit une amélioration au fur et à mesure avec le temps. Ces résultats corroborent à Fabrizzi *et al.* (2005) qui ont rapporté qu'Elissondo *et al.* (2001), ont trouvé qu'à partir du début de l'expérience en Juin 1995 à 1997, la densité apparente a augmenté de 1.26 à 1.34 Mg.m<sup>-3</sup> à une profondeur de 13-18 cm, sous le non labour ; après deux années, en 1999, dans le même site expérimental, Fabrizzi *et al.* ont trouvé des valeurs légèrement inférieures dans les couches superficielles et des valeurs similaires (1.32 mg.m<sup>-3</sup>) dans la profondeur (13-18 cm). Ces résultats semblent indiquer dans le court terme, qu'après 5 ans sous le non labour la densité apparente tend à se stabiliser.

Les résultats de la présente étude sont similaires à ceux de Fasinmirin et Reichert (2011), qui ont indiqué que dans les profondeurs 5-15 et 15-30 cm aucune différence significative n'a été observée entre les traitements de travail du sol. Arvidsson (1998) n'a observé aucune différence de la densité apparente entre les deux traitements au sein de la couche de 10 à 25 cm des sols due à la compaction du sol. D'après Li *et al.* (2011), il n'y a pas de différence significative entre les traitements dans la profondeur 10-15 cm.

Jemai *et al.* (2013), ont rapporté que la différence dans la densité apparente n'était pas significative entre le non labour et le travail conventionnel pendant sept ans. D'après Stone et Schlegel (2010), l'application des résidus ou le non labour ne pourra apporter des changements significatifs dans la densité apparente sur une courte période.

La densité apparente élevée dans le semis direct que dans le travail du sol conventionnel a été rapporté par (Fellahi et Hannachi, 2010 ; Ouanzar, 2012 ; Touahria, 2012 ; Belagrouz, 2013 ; Djaidjaa, 2013) qui ont réalisé des travaux de recherches dans le même axe et dans les mêmes conditions de sols et de climat de notre étude.

Dam *et al.* (2005), ont indiqué dans une expérience de deux ans (2000 et 2001), que la densité apparente est significativement supérieure dans le non labour que le traitement du travail conventionnel. La densité apparente sous le non labour était plus grande que sous le labour à toutes les profondeurs du sol, sauf à 0-3 cm (Franzluebbers *et al.*, 2007). Certaines études indiquent que le non labour augmente la densité apparente (Bescansa *et al.*, 2006 ; Ferreras *et al.*, 2000 ; Soane *et al.*, 2012 ; VandenBygaart *et al.*, 1999b ; Schjo'ning et Rasmussen, 2000).

L'application de paillis améliore la densité apparente par une augmentation de l'humidité du sol et la matière organique à l'environnement propice à la pénétration des racines dans le sol de surface (Ghuman et Sur, 2001). En ce qui concerne la profondeur du sol, la présence de moins d'agrégation du sol pour un faible contenu de carbone organique et la pression exercée par la couverture du sol ont causé une densité apparente plus élevée dans la profondeur du sol de 10 à 20 cm (Arvidsson *et al.*, 2000 ; Mosaddeghi *et al.*, 2000 ; Mulugeta, 2004 ; Melesse, 2007).

Les résultats de notre étude sont en contradiction avec ceux de Kahlon *et al.* (2013) qui trouvent que la diminution moyenne de la densité apparente est de 7.6 % et 5.7 % dans la profondeur 10-20 cm pour le non labour et le travail réduit respectivement. La réduction de la densité apparente dans le système de non labour a également été rapportée par d'autres chercheurs (Shirani *et al.*, 2002 ; McVay *et al.*, 2006).

Gómez-Paccard *et al.* (2014), ont montré que le non labour avait une densité apparente faible par rapport au labour dans les deux campagnes (2011 et 2013). Abdellaoui *et al.* (2011), illustrent qu'après 3 années de conduite en non labour, la densité apparente est faible dans le semis direct que dans le travail conventionnel notamment au niveau de l'horizon de surface, par contre dans les horizons plus profonds (30-40 cm) les valeurs sont plus voisines.

### **3.3. La résistance à la pénétration**

La compaction affecte la qualité physique du sol, elle réduit la porosité (McBride *et al.*, 1989). Le compactage peut s'attendre à réduire la pénétration des racines physiquement (Sands *et al.*, 1979), et par conséquent la production des cultures (Hakansson *et al.*, 1988). Les mesures de la résistance à la pénétrométrie du sol ont été effectivement utilisées dans de nombreuses études comme un outil pour caractériser le compactage du sol après le labour (Utset et Cid, 2001).

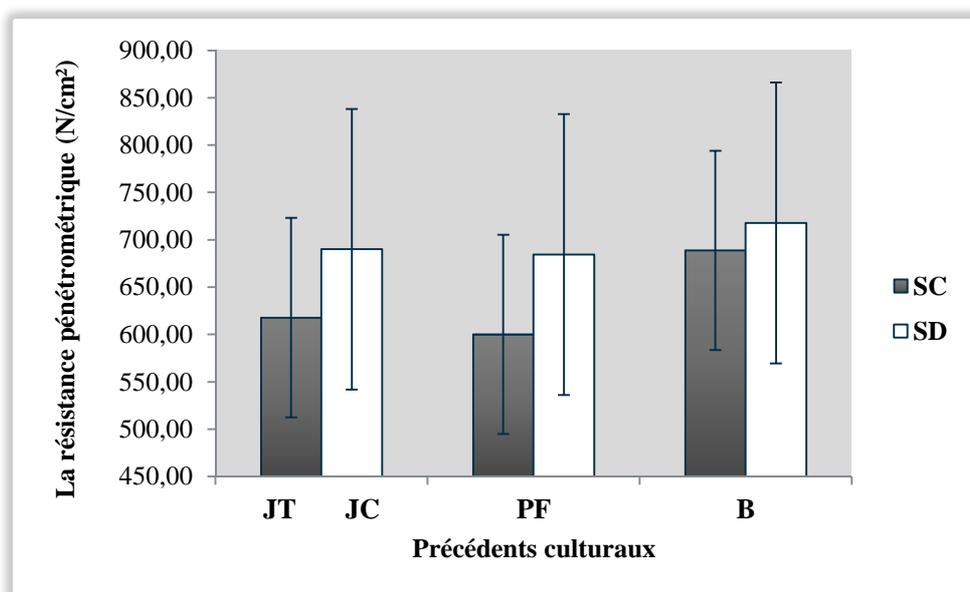
**Tableau III-6 :** Résultats de l'analyse de la variance de la résistance à la pénétration du sol en ( $N.cm^{-2}$ ) par rapport au précédent cultural et au mode de semis.

S. variation	ddl	Rp ( $N.cm^{-2}$ )
Pratiques culturales (F1)	1	17215.43 <sup>ns</sup>
Précédents (F2)	2	6315.43 <sup>ns</sup>
Interaction F1*F2	2	1278.40 <sup>ns</sup>
Erreur	12	20770.99
CV%		21.62
PPDS 5%		/

ns, \*, \*\* = effet non significatif, significatif au seuil de 5, 1 % respectivement, ddl : degré de liberté, CV: coefficient de variation (%), PPDS : Plus Petite Différence Significative au seuil de 5%, Rp : résistance à la pénétration ( $N/cm^2$ ).

Les résultats obtenus mentionnés en Tableau III-6 n'ont pas montré de différence significative ni pour les modes de labour, ni pour les précédents, ni pour l'interaction système x précédent (F1x F2).

L'étude des moyennes montre que la pénétrométrie est élevée dans le système semis direct que dans le labour conventionnel, avec une valeur moyenne de  $697.41 \pm 148.25$  ( $N.cm^{-2}$ ), et  $635.56 \pm 105.25$  ( $N.cm^{-2}$ ), respectivement pour le sol non perturbé et le labour conventionnel.



**Figure III-24 :** Variation de la résistance pénétrométrique du sol en relation avec le mode de semis et le type du précédent.

D'après la figure III-24, la résistance à la pénétration marque la valeur moyenne la plus élevée avec le précédent blé pour les deux modes de semis, avec une valeur de 688.89 N.cm<sup>-2</sup> pour le système conventionnel (Fig. III-24) et une valeur moyenne de 717.78 N.cm<sup>-2</sup> dans le semis direct (Fig. III-24). La variabilité dans le système conventionnel est faible que dans un système non labouré, les valeurs de l'écart type sont de 105.25 et 148.25 respectivement pour le travail du sol conventionnel et le semis direct (Fig. III-24).

Les résultats de la présente étude montrent que le sol non perturbé est plus compacté que celui du travail conventionnel. Celui-ci est en accord avec les résultats de Djaidjaa (2013) dans le même site d'étude. Mais on remarque qu'il y'a une amélioration pour le semis direct parce que nos résultats ne montrent pas de différence significative entre le labour conventionnel et le semis direct, par contre les résultats de Djaidjaa (2013) ont indiqué un effet système hautement significatif.

Nos résultats sont en accord avec Karunatilake *et al.* (2000), qui ont montré que les différences de la résistance du sol entre les traitements de travail du sol étaient plus petites. La compaction du sol dans les couches (0.07 – 0.20 m) limitent l'extraction de l'eau (Lipiec *et al.*, 2003), et affecte la consommation de l'eau et des éléments nutritifs (Oussible *et al.*, 1992). Malhi et O'sullivan (1990), ont trouvé que sur tous les sites, la résistance à la pénétration était généralement plus grande dans la culture sans labour que sous un labour conventionnel. L'augmentation de la résistance pénétrométrique avec le non labour par rapport au labour variait de 20 à 95 % sans mulch, et de 10 à 79 % en résidu retenu (Singh et Malhi, 2006). La résistance mécanique du sol est élevée sous le non labour que dans le travail conventionnel (Ferrerias *et al.*, 2000). D'après Fountas *et al.* (2013), sur la couche supérieure du sol, 0-150 mm, les parcelles sans labour ont été compactées et présentent les valeurs les plus élevées, à la profondeur de 160 à 200 mm, les différences ont été éliminées tandis qu'à 200 mm en dessous de non-labour les valeurs sont faibles.

À une profondeur de 10-15 cm la résistance était significativement plus élevée et uniforme sous le non labour pendant toute une durée de 8 semaines de l'étude (Osunbitan *et al.*, 2005). Franzluebbbers et Stuedemann (2008) ont trouvé que la résistance pénétrométrique était élevée sous le non labour que le travail conventionnel sur la profondeur (10–20 cm). Ainsi que d'après Gozubuyuk *et al.* (2014), dans une expérience réalisée en 2012 à une profondeur de 15 cm la résistance à la pénétration est plus élevée dans le cas du non labour comparativement au travail du sol conventionnel et aux autres traitements de travail du sol.

Par contre les résultats de la présente étude sont contradictoires à Olaoye (2002) qui indique que le système de non labour affiche la valeur de la résistance à la pénétration la plus faible.

La réduction de la résistance pénétrométrique dans le cas du labour conventionnel pourrait être associée à une augmentation de l'intensité d'ameublissement du sol due au labour (Yavuzcan *et al.*, 2002 ; Osunbitan *et al.*, 2005 ; Topa *et al.*, 2011).

### 3.4. La conductivité hydraulique proche de la saturation

Le travail du sol est la façon la plus courante pour modifier la structure du sol en raison des effets sur la porosité (forme, le volume, et la continuité des pores) et la conductivité hydraulique du sol (Hillel, 1998). L'infiltration de l'eau dans le sol est directement proportionnelle à la structure du sol, la taille et le volume des pores (Badalíkova, 2010).

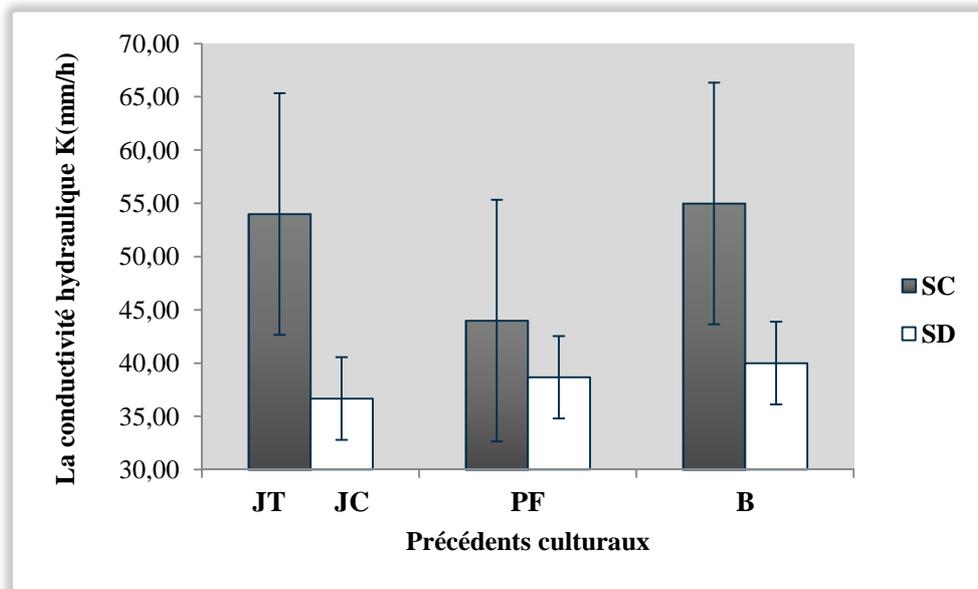
**Tableau III-7 :** Résultats de l'analyse de la variance de la conductivité hydraulique du sol en (mm/h) par rapport au précédent cultural et au mode de semis.

<b>S. variation</b>	<b>ddl</b>	<b>K(h) (mm.h<sup>-1</sup>)</b>
<b>Pratiques culturales (F1)</b>	1	709.39**
<b>Précédents (F2)</b>	2	58.72 <sup>ns</sup>
<b>Interaction F1*F2</b>	2	60.72 <sup>ns</sup>
<b>Erreur</b>	12	75.94
<b>CV%</b>		19.49
<b>PPDS 5%</b>		8.47

ns, \*, \*\* = effet non significatif, significatif au seuil de 5, 1 % respectivement, ddl : degré de liberté, CV : coefficient de variation (%), PPDS : Plus Petite Différence Significative au seuil de 5%, K(h) : conductivité hydraulique (mm/h).

L'analyse de la variance montre un effet modes de labour hautement significatif (Tab. III-7). Alors que l'effet précédent et l'interaction système x précédent (F1xF2) ne présentent aucune différence significative (Tab. III-7).

L'étude des moyennes mentionne que l'infiltration de l'eau dans le sol non labouré est plus faible comparativement à ce qu'elle est sous conduite conventionnelle. Avec des valeurs moyennes de  $38.44 \pm 3.88$  (mm/h) et  $51.00 \pm 11.35$  (mm/h) respectivement pour le semis direct et le travail conventionnel. La présence d'une céréale comme précédent joue un rôle positif dans ce sens, et elle améliore un peu la perméabilité du sol (Fig. III-25).



**Figure III-25 :** Variation de la conductivité hydraulique du sol en relation avec le mode de semis et le type du précédent.

Le système du semis direct est plus stable que le travail du sol, dont on observe que la variabilité dans le semis direct est plus faible que dans le cas du labour avec un écart type de 3.88 pour le SD (Fig. III-25), et de 11.35 pour le travail du sol conventionnel (Fig. III-25). On peut expliquer ce résultat par l'homogénéité du sol non labouré. Selon White *et al.* (1992), les valeurs de l'infiltration avaient une grande variabilité attribuée à l'hétérogénéité du sol causée par des changements structuraux qui ont eu lieu lors de remouillage des agrégats avec différents degrés de stabilité.

Les résultats de la présente étude corroborent ceux de Djaidjaa (2013) et Touahria (2012), qui trouvent que l'eau s'infiltré dans le sol du labour conventionnel environ plus de deux fois vite que dans le sol non labouré. Les résultats de Fellahi et Hannachi (2010) indiquent que le TC présente une meilleure perméabilité. Les résultats obtenus par Makhoul et *al.* (2011) et Bouzrara et Ould Ferroukh, (2010) font ressortir que les plus faibles valeurs sont attribuées au semis direct, suivi par le TCS et le TC.

Les valeurs obtenues par Belagrouz (2013) et Fortas *et al.* (2013) indiquent que le sol en labour réduit se distingue par une perméabilité supérieure, suivi du TC et SD. Une conductivité plus grande en sol en Travail minimum peut être le résultat de la présence des résidus de récolte en surface (15 cm) qui améliore la stabilité structurale et celle de la porosité qui favorise l'écoulement de l'eau. Selon Horne *et al.* (1992), le système du non labour a

entraîné des taux d'infiltration plus bas comparativement au travail du sol minimum et le travail du sol conventionnel sur un sol limoneux au cours d'une étude de 10 ans.

D'après Lampurlane's et Cantero-Martínez (2006), la conductivité hydraulique était environ trois fois plus petite pour le non labour que pour le travail minimum. La conductivité hydraulique du sol sous le non labour était significativement plus faible à celle mesurée pour le travail du sol conventionnel et le travail du sol réduit (Moret et Arrue, 2007). La conductivité hydraulique à la saturation  $K_s$  était généralement plus faible dans le non labour que sous un sol labouré (Tripathi *et al.*, 2007).

Les résultats obtenus à partir de diverses études ont montré que le traitement sans labour a provoqué la baisse de l'infiltration (Abu-Hamdeh, 2002 ; Lipiec *et al.* , 2006 ; Matula, 2003 ; Sasal *et al.*, 2006).

Vauchin et Chopart (1997) ont observé qu'une sorptivité capillaire plus élevée et la conductivité hydraulique du sol labouré conventionnellement attribue à cette meilleure connectivité des pores dans la couche de charrue. Les conditions difficiles pour le mouvement de l'eau trouvées sous le non labour peuvent être expliquées par la densité apparente la plus élevée observée dans un sol non perturbé (Lampurlanés et Cantero Martí'nez, 2003). Cet événement se produit habituellement pendant les premières années après la conversion vers le labour de conservation (Kinsella, 1995).

En général, la vitesse d'infiltration et la conductivité hydraulique à saturation sont relativement plus élevées dans le non labour que les traitements de labour (Kahlon *et al.*, 2013 et Gómez-Paccard *et al.*, 2014).

Cependant les résultats de la présente étude vont à l'encontre de Sillon *et al.* (2003), qui ont indiqué que la conductivité hydraulique insaturée était plus élevée dans les parcelles compactées que dans les parcelles labourées dans le sol calcaire. La conductivité hydraulique du sol à une profondeur de 10 cm a diminué de manière significative dans l'ordre suivant un travail du sol avec un rotatoire, sans labour, et la charrue (Carter *et al.*, 2002).

La présence des résidus de cultures à la surface du sol sous le labour de conservation se traduit souvent par une augmentation de macroporosité et de l'infiltration du sol (Martens et Frankenberger, 1992 ; Potter *et al.*, 1995 ; Baumhardt et Lascano, 1996 ; Ahuja *et al.*, 2006). La présence de biopores continus peut être due à des bioperturbations minimales du sol (Singh *et al.*, 1995).

### 3.5. La matière organique

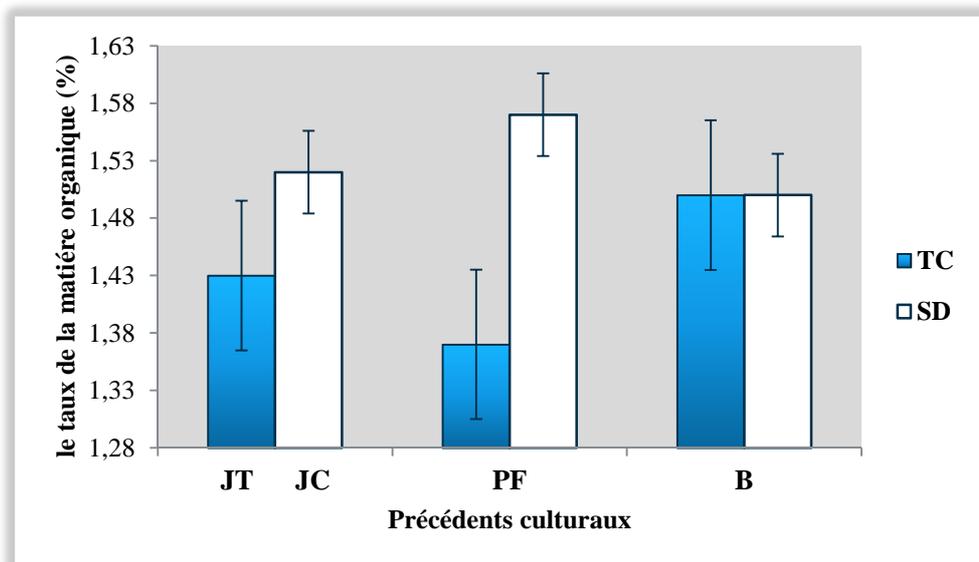
Les plantes sont la principale source de carbone dans les sols par des résidus de tissus ou via des exsudats racinaires et des champignons symbiotiques (Clemmensen *et al.*, 2013).

**Tableau III-8 :** Résultats de l'analyse de la variance de la matière organique (%) du sol par rapport au précédent cultural et au mode de semis.

S. variation	ddl	MO%
Pratiques culturales (F1)	1	0.0671**
Précédents (F2)	3	0.0017 <sup>ns</sup>
Interaction F1*F2	3	0.0103 <sup>ns</sup>
Erreur	16	0.0061

ns, \*, \*\* = effet non significatif, significatif au seuil de 5, 1 % respectivement, ddl: degré de liberté, CV : coefficient de variation (%), PPDS : Plus Petite Différence Significative au seuil de 5%, MO : matière organique (%).

L'analyse de la variance de la matière organique montre qu'il y'a une différence hautement significative entre les systèmes de culture avec un avantage marqué pour le semis direct (Tab. III-8). Les précédents et l'interaction système x précédent (F1xF2) n'affichent aucune différence significative (Tab. III-8).



**Figure III-26 :** Variation de la matière organique du sol en relation avec le mode de semis et le type du précédent.

Le taux de la matière organique est généralement faible dans nos sols, la teneur est comprise entre 1.50 à 1.57 % chez le semis direct et varie entre 1.37 % à 1.50 % chez le travail conventionnel (Fig. III-26). La variabilité est faible dans le cas du semis direct que le travail conventionnel, la valeur de l'écart type est de 0.03 et 0.06, respectivement dans le cas du sol non labouré et le sol labouré (Fig. III-26).

La teneur en matière organique des sols céréaliers des hautes plaines est faible, généralement inférieure à 2 % (Batouche et Labiod, 1991). Bessam (1999) a montré que la rotation continue Blé-Blé améliore le taux de la matière organique.

Les résultats de la présente étude sont en accord avec les résultats de Abdellaoui *et al.*, (2011) après la 3<sup>ème</sup> année de mise en culture du blé, et révèlent que le carbone organique varie significativement selon le type de travail du sol, une meilleure teneur en matière organique est marquée en non labour sur chacun des trois horizons mesurés.

Selon Djaidjaa (2013), la matière organique est plus élevée dans la couche (0-5 cm) sous le non labour que sous le labour conventionnel, alors que dans les couches (5-20 et 20-30 cm) on ne distingue pas de différence significative entre les deux systèmes de labour. Après 10 ans, la concentration de C sous le non labour était supérieure que sous le travail du sol, seulement dans la première couche de 3 cm (Salvo *et al.*, 2010). Ainsi que d'après Koch et Stockfisch (2006) dans une profondeur de 10-20 cm le carbone organique du sol n'est pas affecté par le labour.

Dans tous les systèmes de culture, la concentration de carbone est plus élevée dans la couche supérieure du sol de 0-5 cm avec une baisse dans les couches profondes (5-10 et 10-20 cm) (Costa Junior *et al.*, 2013). Par conséquent, les traitements avec des teneurs en carbone organique plus élevées dans la couche arable ont également été caractérisés par des niveaux plus élevés d'activité microbienne (Panettieri *et al.*, 2014). Des études similaires réalisées dans la région semi-aride ont trouvé que la teneur en matière organique du sol est élevée dans le semis direct que dans le travail conventionnel (Mrabet, 2011 ; Ouanzar, 2012 ; Belagrouz, 2013)

Dans les sols tropicaux, le non labour est la stratégie de gestion principale pour augmenter l'accumulation de la matière organique, après six ans, le stockage de carbone dans le sol dans une profondeur de 0-10 cm était plus élevé dans le sol non labouré que dans le cas du labour (Pinheiro *et al.*, 2014). Les pratiques de conservation de sol ont entraîné une amélioration de

la stabilité du carbone organique du sol dans les sols tempérés et les sols tropicaux (Six *et al.*, 2002a ; West et Post, 2002).

Selon Plaza *et al.* (2013), le sol sous le non labour emmagasine plus de 16 % de carbone organique que dans le sol sous le travail conventionnel. Mrabet *et al.* (2001) ont montré qu'il y'avait une augmentation de carbone organique de 13.6 % durant une période de 11 ans sous le non labour, alors que le TC n'affecte pas beaucoup cet indicateur de la qualité du sol. Lal (1998), a indiqué que le non labour contenait plus de carbone organique du sol dans la couche supérieure (0-10 cm) que sous le sol labouré. Les résultats de Bhattacharyya *et al.* (2009), ont confirmé qu'après quatre ans d'expérimentation dans la couche de sol 0-15 cm, les parcelles non labourées stockent approximativement de 10.2 % de plus du carbone organique dans le sol que le travail du sol (23.8 Mg. Ha<sup>-1</sup>). Cependant selon Lopez-Bellido *et al.* (1997), aucune différence significative dans le contenu de la matière organique entre le labour et le semis direct n'a été observée à n'importe quelle profondeur après une période de 6 ans. Le faible stockage du C sous le travail conventionnel était probablement due à des taux élevés d'oxydation, la libération de composés organiques à la forme soluble, et une plus grande activité microbienne (Mrabet *et al.*, 2001). Dans le cas de la non perturbation de la surface du sol les résidus pourraient être minéralisés et stabilisés (Angers *et al.*, 1997 ; Lorenz *et al.*, 2005).

## 4. Confrontation des paramètres étudiés

### 4.1. Les relations entre les variables mesurées chez le blé dur

Le besoin de comprendre les relations entre le rendement et ses composantes est évident, car elles imposent des contraintes à la forme de la plante et sont fréquemment des barrières pour améliorer le rendement (Grafius, 1978).

**Tableau III-9 :** Coefficients de corrélation (en dessous) et probabilité (en dessus) entre les variables mesurées chez le blé dur.

Variabes	Plt/m <sup>2</sup>	NT	TRE	Chlor.	SF	NEE	NEM	NGE	Ht	LE	RDTbio	RDT	PMG	RDTp	HI
Plt/m <sup>2</sup>		<b>0.022</b>	0.703	0.198	0.050	<b>0.004</b>	<b>0.007</b>	0.068	<b>0.031</b>	0.599	<b>0.010</b>	<b>0.001</b>	0.455	0.081	0.345
NT	<b>0.877</b>		0.457	0.547	<b>0.033</b>	<b>0.038</b>	0.084	<b>0.001</b>	<b>0.032</b>	0.376	<b>0.045</b>	<b>0.003</b>	0.521	0.187	0.228
TRE	0.201	0.380		0.876	0.280	0.715	0.589	0.481	0.878	0.303	0.919	0.551	0.804	0.541	<b>0.014</b>
Chlor.	0.610	0.312	0.083		0.655	0.082	0.229	0.835	0.249	0.754	0.262	0.256	0.052	0.343	0.584
SF	0.811	<b>0.849</b>	0.530	0.234		0.162	<b>0.019</b>	0.056	0.109	0.769	0.099	<b>0.036</b>	0.833	0.249	0.227
NEE	<b>0.949</b>	<b>0.837</b>	0.192	0.756	0.651		<b>0.049</b>	0.107	<b>0.028</b>	0.623	<b>0.025</b>	<b>0.004</b>	0.194	0.121	0.319
NEM	<b>0.932</b>	0.753	0.282	0.579	<b>0.885</b>	<b>0.813</b>		0.180	0.071	0.865	<b>0.031</b>	<b>0.021</b>	0.588	0.101	0.385
NGE	0.779	<b>0.976</b>	0.362	0.111	0.800	0.719	0.631		0.084	0.299	0.102	<b>0.023</b>	0.737	0.282	0.260
Ht	<b>0.851</b>	<b>0.850</b>	0.082	0.559	0.717	<b>0.859</b>	0.774	0.753		0.248	<b>0.003</b>	<b>0.017</b>	<b>0.191</b>	<b>0.019</b>	0.656
LE	0.274	0.446	0.508	-0.165	0.155	0.257	0.090	0.512	0.560		0.252	0.522	0.853	0.160	0.425
RDTbio	<b>0.917</b>	<b>0.822</b>	0.054	0.546	0.731	<b>0.869</b>	<b>0.854</b>	0.727	<b>0.958</b>	0.556		<b>0.014</b>	0.369	<b>0.004</b>	0.772
RDT	<b>0.976</b>	<b>0.953</b>	0.309	0.552	<b>0.840</b>	<b>0.948</b>	<b>0.880</b>	<b>0.873</b>	<b>0.892</b>	0.331	<b>0.902</b>		0.382	0.109	0.254
PMG	0.382	0.332	0.132	0.808	0.112	0.615	0.282	0.177	0.618	0.098	0.452	0.441		0.428	0.680
RDTp	0.758	0.622	0.317	0.473	0.559	0.701	0.727	0.528	<b>0.887</b>	0.653	<b>0.948</b>	0.717	0.403		0.758
HI	0.472	0.580	<b>0.904</b>	0.285	0.581	0.494	0.438	0.548	0.234	0.406	0.153	0.554	0.216	-0.163	

Plt/ m<sup>2</sup> : nombre de plants levés/m<sup>2</sup>, NT : nombre de talles/m<sup>2</sup>, TRE : teneur relative en eau (%), Chlor. : teneur en chlorophylle (SPAD), SF : surface foliaire (cm<sup>2</sup>), NEE : nombre d'épis au stade épiaison/m<sup>2</sup>, NEM : nombre d'épi au stade maturité/m<sup>2</sup>, NGE : nombre de grains par épi, Ht : hauteur des plantes (cm), PMG : poids de mille grains (g), LE : longueur d'épi (cm), RDTbio : rendement en biomasse aérienne (q/ha), RDT : rendement grain (q/ha), RDTp : rendement en paille (q/ha), HI : indice de récolte (%).

L'étude des relations entre les variables mesurées sur la culture indique que :

- Le rendement grain est positivement et significativement corrélé avec le rendement en biomasse aérienne ( $r = 0.902^*$ ) ( $P < 0.05$ ), ce résultat indique que les plantes qui ont plus de biomasse aérienne vont contribuer à augmenter le rendement grain, ce résultat corrobore (Daidache et Biad, 2012 ; Lakaab, 2012 ; Pedro *et al.*, 2012 ; Bustos *et al.*, 2013 ; Chehili et Boudjoudjou, 2013 ; Djaidjaa, 2013 ; Beche *et al.*, 2014).

Le rendement grain est positivement et hautement significativement corrélé avec le nombre de plants levés ( $r = \mathbf{0.976^{**}}$ ) ( $P < 0.01$ ) ce qui corrobore des résultats obtenus dans la même région d'étude (Djaidjaa, 2013 ; Boudiar, 2013) ; avec le nombre de talles par  $m^2$  ( $r = \mathbf{0.953^{**}}$ ) ( $P < 0.01$ ) ; et avec le nombre d'épis au stade épiaison ( $r = \mathbf{0.948^{**}}$ ) ( $P < 0.01$ ). Une corrélation positive et significative existe entre le rendement grain et le nombre d'épis au stade maturité ( $r = \mathbf{0.880^*}$ ) ( $P < 0.05$ ), la corrélation entre le rendement grain et le nombre d'épis a été trouvé aussi par (Kribaa, 1992 ; Kabakci *et al.*, 1993 ; Kribaa *et al.*, 2001 ; Hemmat et Eskandari, 2006).

Une autre corrélation positive et significative existe entre le rendement grain et la surface foliaire ( $r = \mathbf{0.840^*}$ ) ( $P < 0.05$ ), par contre Rouabhi (2008) a trouvé une corrélation négative entre le rendement grain du blé et la surface foliaire.

Le rendement grain est positivement et significativement corrélé avec le nombre de grains par épi ( $r = \mathbf{0.873^*}$ ) ( $P < 0.05$ ). Blum et Pnuel (1990), ont considéré que le rendement grain du blé est plus lié à la fertilité de l'épi qu'à la taille du grain. Une corrélation positive et hautement significative existe entre le rendement grain et la hauteur des plantes ( $r = \mathbf{0.892^*}$ ) ( $P < 0.05$ ). Lorsque ces composantes s'améliorent le rendement grain s'améliore.

- Le rendement en biomasse aérienne est positivement et hautement significativement lié au nombre de plants levés par mètre carré ( $r = \mathbf{0.917^{**}}$ ) ( $P < 0.01$ ), ceci détermine que les traitements qui ont un nombre élevé de plants levés et de talles produisent plus de la matière sèche. La biomasse aérienne est corrélée positivement et significativement avec le nombre de talles par mètre carré ( $r = \mathbf{0.822^*}$ ) ( $P < 0.05$ ), ceci détermine que les traitements qui ont un nombre élevé de plants levés et de talles produisent plus de la matière sèche. Une corrélation positive et significative existe entre le rendement en biomasse aérienne et le nombre d'épis (au stade épiaison  $r = \mathbf{0.869^*}$ ) et au stade maturité ( $r = \mathbf{0.854^*}$ ) ( $P < 0.05$ ). Le rendement en biomasse aérienne est corrélée positivement et hautement significativement avec la hauteur des plantes ( $r = \mathbf{0.958^{**}}$ ) ( $P < 0.01$ ), et avec le rendement en paille ( $r = \mathbf{0.948^{**}}$ ) ( $P < 0.01$ ), ceci suggère que les plantes qui sont vigoureuses (biomasse aérienne élevée) produisent plus de paille.
- Le nombre d'épis au stade épiaison est positivement et hautement significativement corrélé avec le nombre de plants levés ( $r = \mathbf{0.949^{**}}$ ) ( $P < 0.01$ ) et avec le nombre d'épis au stade maturité ( $r = \mathbf{0.932^{**}}$ ) ( $P < 0.01$ ). Ceci suggère que les traitements qui

possèdent une densité de plantes émergées plus élevées produisent plus de nombre d'épis.

Le nombre de talles est corrélé positivement et significativement avec le nombre de plants levés ( $r = 0.877^*$ ) ( $P < 0.05$ ), les traitements qui possèdent une levée plus importante des plantes produisent plus de talles. Ceci en contradiction avec Mahdadi et Bouzidi (2013), qui ont trouvé qu'il existe une relation négative entre le nombre de plants levés et le nombre des talles à cause de la compétition entre les plantes. Il existe une corrélation positive et significative entre le nombre de plants levés et la hauteur des plantes ( $r = 0.851^*$ ) ( $P < 0.05$ ), ça veut dire que les traitements qui permettent une levée plus élevée des plantes produisent plus de talles et favorise la croissance des plantes.

- Le nombre de grains par épi est lié positivement et hautement significativement avec le nombre de talles ( $r = 0.976^{**}$ ) ( $P < 0.01$ ). Ceci veut dire que les plantes qui produisent plus de talles ont plus de la fertilité épi (NGE). Le nombre de talles par m<sup>2</sup> est corrélé positivement et significativement avec la surface foliaire ( $r = 0.849^*$ ) ( $P < 0.05$ ), avec le nombre d'épis au stade épiaison ( $r = 0.837^*$ ) ( $P < 0.05$ ), avec la hauteur des plantes ( $r = 0.850^*$ ) ( $P < 0.05$ ).
- La teneur relative en eau est liée positivement et significativement avec l'indice de récolte ( $r = 0.904^*$ ) ( $P < 0.05$ ), on peut dire que la teneur relative en eau élevée contribue à augmenter l'indice de récolte des plantes.
- La surface foliaire est corrélée positivement et significativement avec le nombre d'épis au stade maturité ( $r = 0.885^*$ ) ( $P < 0.05$ ).
- Le nombre d'épis au stade maturité est lié positivement et significativement avec le nombre d'épis au stade épiaison ( $r = 0.813^*$ ) ( $P < 0.05$ ). Plus que le nombre d'épis est élevé au stade épiaison sera automatiquement élevé au stade maturité.
- Le rendement en paille est lié positivement et significativement avec la hauteur des plantes, ceci suggère que les plantes hautes produisent plus de paille.

## 4.2. Les relations entre les variables mesurées chez le sol

**Tableau III-10** : Coefficients de corrélation (en dessous) et probabilité (en dessus) entre les variables mesurées chez le sol.

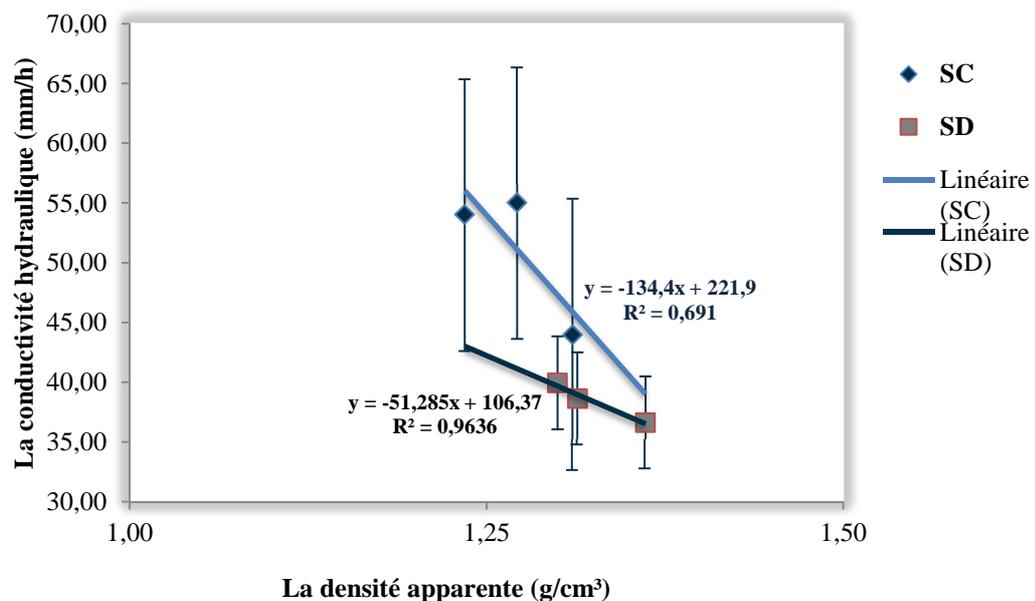
Variables	H67 JAS	H117 JAS	H131 JAS	H145 JAS	H159 JAS	H175 JAS	H189 JAS	Da	K(h)	Rp	MO
H67 JAS		0.587	0.946	0.175	0.534	0.891	0.759	<b>0.014</b>	<b>0.000</b>	0.385	0.139
H117 JAS	0.283		0.134	0.572	0.563	0.128	0.084	0.970	0.763	0.598	0.992
H131 JAS	-0.036	0.684		0.589	0.497	0.976	<b>0.014</b>	0.802	0.754	0.822	0.639
H145 JAS	-0.636	-0.294	-0.282		0.459	0.798	0.672	0.458	0.168	0.395	<b>0.035</b>
H159 JAS	0.322	0.300	0.350	-0.379		0.970	0.979	0.433	0.705	0.076	0.515
H175 JAS	-0.073	-0.692	-0.016	-0.136	0.020		0.622	0.755	0.969	0.481	0.940
H189 JAS	0.162	-0.753	<b>-0.900</b>	0.222	-0.014	0.258		0.442	0.630	0.637	0.595
Da	<b>-0.902</b>	-0.020	0.132	0.379	-0.399	-0.165	-0.392		<b>0.023</b>	0.489	0.339
K(h)	<b>0.984</b>	0.159	-0.166	-0.644	0.200	-0.020	0.252	<b>-0.873</b>		0.449	0.097
Rp	-0.438	-0.275	0.119	0.430	-0.765	0.361	-0.247	0.356	-0.386		0.159
MO	-0.677	-0.005	0.245	<b>0.843</b>	-0.336	-0.040	-0.277	0.477	-0.733	0.654	

H : humidité du sol (%), JAS : jours après semis, Da : densité apparente ( $\text{g.m}^{-3}$ ), Rp : résistance à la pénétration ( $\text{N/cm}^2$ ), K(h) : conductivité hydraulique (mm/h), MO : matière organique (%).

La corrélation entre la résistance à la pénétration, l'humidité du sol et la densité apparente joue un rôle critique dans l'évaluation des conditions physiques du sol (Lin *et al.*, 2014). L'étude des relations entre les variables liées au sol montre que :

- La conductivité hydraulique est corrélée hautement significativement et positivement avec l'humidité du sol au 67 JAS ( $r = \mathbf{0.984^{**}}$ ) ( $P < 0.01$ ). Il est connu que la conductivité de l'eau dans le sol est guidée par la porosité fonctionnelle du sol (Hino *et al.*, 1988). On remarque que cette date de mesure de l'humidité du sol correspond à un taux d'humidité plus élevé que les autres dates (Fig. III-17), dans ce cas lorsque le sol est humide l'eau s'infiltré dans le sol et représente la conductivité hydraulique.
- la densité apparente est liée significativement et négativement avec l'humidité du sol au 67 JAS ( $r = \mathbf{-0.902^*}$ ) ( $P < 0.05$ ). Selon Choudhary *et al.* (2013) et Gordon *et al.* (1993), la densité apparente et la résistance à la pénétration conduisent à augmenter le stock de l'eau dans le sol. La densité apparente et l'humidité du sol sont hautement significativement corrélées (Mora et Lázaro, 2014). Selon Avnimelech *et al.* (2001), il existe une interrelation et dépendance entre l'humidité du sol et la densité apparente.

- Le taux de la matière organique est lié significativement et positivement avec l'humidité du sol au 145 JAS ( $r = 0.843^*$ ) ( $P < 0.05$ ). En date 145 JAS, l'humidité du sol atteint sa faible valeur (Fig. III-17) cette période se caractérise par la rareté de précipitation.
- La vitesse d'infiltration est corrélée significativement et négativement avec la densité apparente ( $r = -0.873^*$ ) ( $P < 0.05$ ). Une faible infiltration de l'eau avec la non-perturbation du sol est le résultat d'une augmentation de la densité apparente (Rasmussen, 1999). Plusieurs recherches ont indiqué que la compaction du sol affecte la vitesse d'infiltration (Chanasyk et Naeth, 1995 ; Wood *et al.*, 2008 ; du Toit *et al.*, 2009). Si la densité apparente du sol augmente, la pénétration du sol diminue, et alors la vitesse d'infiltration du sol diminue (Mworia *et al.*, 1977 ; Snyman et Du Preez, 2005 ).



**Figure III-27** : Relation entre la conductivité hydraulique (mm/h) et la densité apparente (g/cm³).

La présente étude montre que la densité apparente est indépendante de la résistance à la pénétrométrie ce qui est rapporté par plusieurs auteurs (Busscher, 1990 ; Unger et Jones, 1998 ; Chen *et al.*, 2012 ; Quraishi et Mouazen, 2013). Par contre plusieurs auteurs ont trouvé que la résistance pénétrométrique est dépendante de la densité apparente (Unger, 1996 ; Mapfumo et Chanasyk, 1998 ; Hernanz *et al.*, 2000 ; Dexter *et al.*, 2007 ; Gozubuyuk *et al.*, 2014).

On remarque également qu'il n'existe aucune corrélation entre l'humidité du sol et la résistance à la pénétrométrie, un constat similaire à celui de Mouazen et Ramon (2002). Franzluebbbers et Stuedemann (2008), ont indiqué que l'humidité du sol affecte moins la résistance à la pénétration. Par contre selon Busscher *et al.* (1997), le sol humide minimise la résistance du sol.

Nos résultats indiquent que la matière organique n'est pas corrélée avec la densité apparente et la conductivité hydraulique, par contre selon Keller et Håkansson (2010) et Aragón *et al.* (2000), la densité apparente est négativement corrélée avec la matière organique. La vitesse d'infiltration est positivement et significativement corrélée avec le carbone organique du sol (Abid et Lal, 2009).

#### 4.4. Confrontation propriétés du sol et culture de blé dur

Le sol est le support de la végétation qui influe sur la croissance des plantes. La croissance des plantes est affectée par la structure et le compactage de cette interface (Keller et Hakansson, 2010), par l'humidité qui est liée à la distribution et de la taille des pores et à la densité apparente (Hubbard *et al.*, 2013).

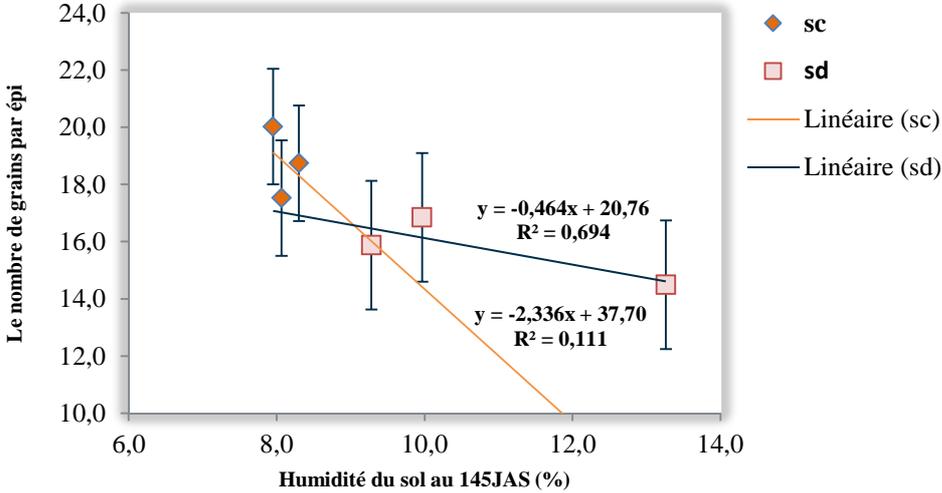
**Tableau III-11** : Coefficients de corrélation (en dessus) et probabilité (en dessous) entre les variables mesurées chez le sol et la végétation.

Variables	H67 JAS	H117 JAS	H131 JAS	H145 JAS	H159 JAS	H175 JAS	H189 JAS	Da	K(h)	Rp	MO
Plt/m <sup>2</sup>	0.675	-0.109	-0.353	-0.660	0.548	0.082	0.508	-0.620	0.703	-0.799	<b>-0.920</b>
	0.141	0.837	0.493	0.154	0.260	0.877	0.304	0.189	0.119	0.057	<b>0.009</b>
NT	0.744	-0.117	-0.338	-0.796	0.178	0.151	0.367	-0.579	<b>0.822</b>	-0.488	<b>-0.966</b>
	0.090	0.826	0.512	0.058	0.736	0.775	0.474	0.229	<b>0.045</b>	0.326	<b>0.002</b>
TRE	0.725	0.799	0.423	-0.597	0.125	-0.474	-0.494	-0.426	0.669	-0.226	-0.385
	0.103	0.057	0.403	0.211	0.814	0.343	0.320	0.400	0.146	0.667	0.452
Chlor.	0.565	-0.031	-0.436	0.046	0.505	-0.215	0.644	-0.725	0.523	-0.662	-0.311
	0.242	0.954	0.387	0.930	0.307	0.682	0.168	0.103	0.287	0.152	0.548
SF	0.603	0.279	-0.115	<b>-0.825</b>	0.330	-0.263	0.056	-0.302	0.636	-0.720	<b>-0.939</b>
	0.205	0.593	0.828	<b>0.043</b>	0.523	0.614	0.915	0.561	0.175	0.107	<b>0.005</b>
NEE	0.770	-0.197	-0.458	-0.510	0.463	0.128	0.648	-0.799	0.799	-0.684	<b>-0.814</b>
	0.073	0.709	0.361	0.301	0.356	0.809	0.164	0.057	0.057	0.134	<b>0.049</b>
NEM	0.565	0.137	-0.254	-0.621	0.605	-0.228	0.334	-0.424	0.566	<b>-0.937</b>	<b>-0.872</b>
	0.243	0.795	0.627	0.188	0.203	0.664	0.518	0.402	0.242	<b>0.006</b>	<b>0.024</b>
NGE	0.666	-0.151	-0.253	<b>-0.838</b>	0.076	0.267	0.260	-0.481	0.757	-0.332	<b>-0.928</b>
	0.149	0.775	0.628	<b>0.037</b>	0.886	0.609	0.619	0.334	0.081	0.521	<b>0.008</b>
Ht	0.551	-0.324	-0.741	-0.397	0.073	-0.040	0.717	-0.474	0.651	-0.570	<b>-0.821</b>
	0.257	0.532	0.092	0.436	0.891	0.940	0.109	0.343	0.162	0.238	<b>0.045</b>
LE	-0.148	<b>-0.836</b>	-0.709	-0.068	-0.456	0.502	0.605	0.123	0.023	0.176	-0.348
	0.780	<b>0.038</b>	0.114	0.898	0.364	0.310	0.203	0.816	0.965	0.738	0.499
RDTbio	0.447	-0.362	-0.661	-0.439	0.273	0.061	0.707	-0.404	0.530	-0.686	<b>-0.845</b>
	0.374	0.480	0.153	0.384	0.601	0.909	0.116	0.427	0.280	0.132	<b>0.034</b>
RDT	0.761	-0.103	-0.383	-0.709	0.394	0.079	0.488	-0.663	0.809	-0.692	<b>-0.955</b>
	0.079	0.846	0.453	0.115	0.440	0.882	0.326	0.151	0.051	0.128	<b>0.003</b>
PMG	0.559	-0.188	-0.685	0.193	-0.082	-0.231	0.709	-0.666	0.592	-0.241	-0.208
	0.249	0.721	0.133	0.714	0.877	0.660	0.115	0.149	0.215	0.646	0.692
RDTp	0.158	-0.509	-0.785	-0.185	0.150	0.040	0.781	-0.161	0.257	-0.596	-0.658
	0.765	0.302	0.065	0.726	0.777	0.939	0.067	0.760	0.624	0.211	0.156
HI	<b>0.905</b>	0.594	0.367	-0.740	0.372	-0.158	-0.268	-0.717	<b>0.847</b>	-0.356	-0.563
	<b>0.013</b>	0.214	0.474	0.092	0.468	0.766	0.608	0.109	<b>0.033</b>	0.488	0.245

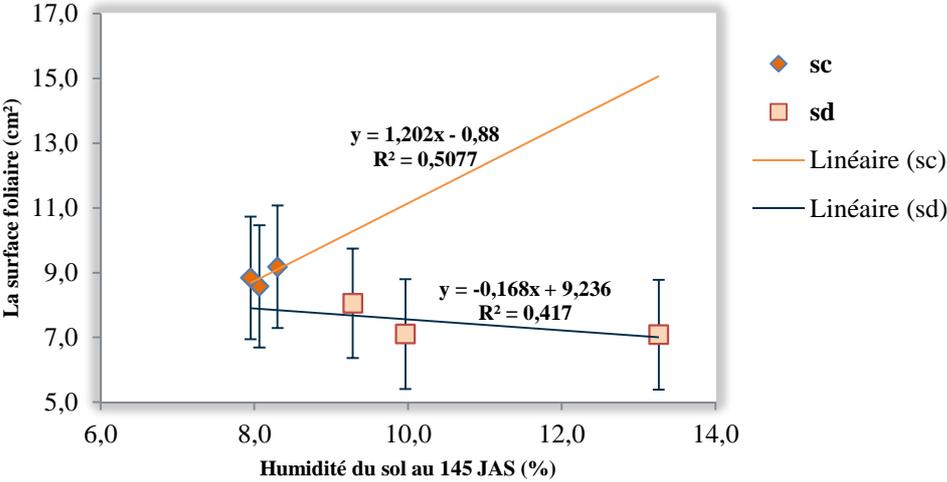
H : humidité du sol (%), JAS : jours après semis, Da : densité apparente (g.m<sup>-3</sup>), Rp : résistance à la pénétration (N/cm<sup>2</sup>), K(h) : conductivité hydraulique (mm/h), MO : matière organique (%), Plt/ m<sup>2</sup> : nombre de plants levés/m<sup>2</sup>, NT : nombre de talles/m<sup>2</sup>, TRE : teneur relative en eau (%), Chlor. : teneur en chlorophylle (SPAD), SF : surface foliaire (cm<sup>2</sup>), NEE : nombre d'épis au stade épiaison/m<sup>2</sup>, NEM : nombre d'épis au stade maturité/m<sup>2</sup>, NGE : nombre de grains par épi, Ht : hauteur des plantes (cm), LE : longueur d'épi (cm), RDTbio : rendement en biomasse aérienne (q/ha), RDT : rendement grain (q/ha), PMG : poids de mille grains (g), RDTp : rendement en paille (q/ha), HI : indice de récolte (%).

L'étude de l'influence des propriétés du sol sur la végétation mentionnée en Tableau III-11 ci-dessus indique qu'il existe une corrélation significative et négative liant le nombre de grains par épi ( $r = -0.838^*$ ) ( $P < 0.05$ ), et la surface foliaire ( $r = -0.825^*$ ) ( $P < 0.05$ ) avec l'humidité

du sol à 145 JAS. Les plantes qui ont de faibles surfaces foliaires réduisent l'évaporation en augmentant la résistance à la sécheresse (Niklas, 1994 ; Sobrado, 1997 ; Preston et Ackerly, 2003 ; Westoby et Wright, 2003 ; Sun *et al.*, 2006) cités *In Yang et al.* (2014).



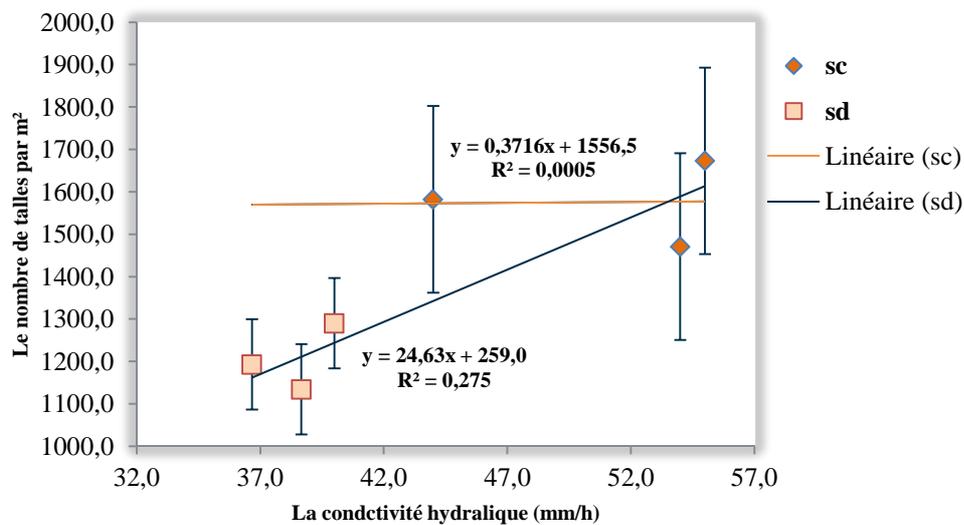
**Figure III-28 :** Relation entre le nombre de grains par épi et l'humidité du sol au 145 JAS (%).



**Figure III-29 :** Relation entre la surface foliaire (cm²) et l'humidité du sol au 145 (%).

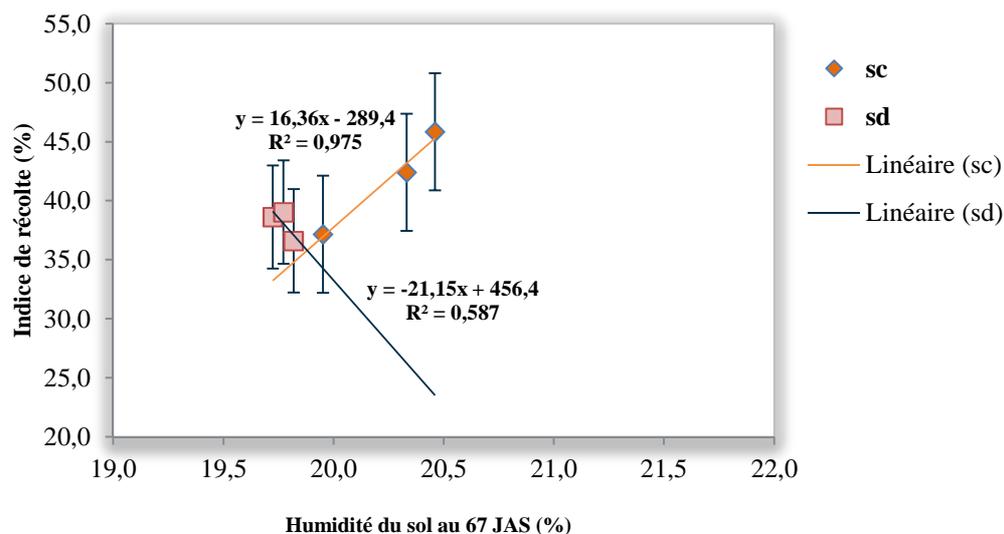
On remarque que l'humidité du sol à la date 145 JAS dont elle atteint sa basse valeur (Fig. III-17) coïncidant le stade épiaison affecte le nombre de grains par épi, cela veut dire que la sécheresse influe sur le nombre de grains par épi.

- Il existe une corrélation significative et positive entre le nombre de talles par m<sup>2</sup> avec la vitesse d'infiltration ( $r = 0.822^*$ ) ( $P < 0.05$ ), ainsi que entre la vitesse d'infiltration et l'indice de récolte ( $r = 0.847^*$ ) ( $P < 0.05$ ). Autant que l'eau s'infilte rapidement dans le sol plus que les plantes produisent de talles en augmentant l'indice de récolte.



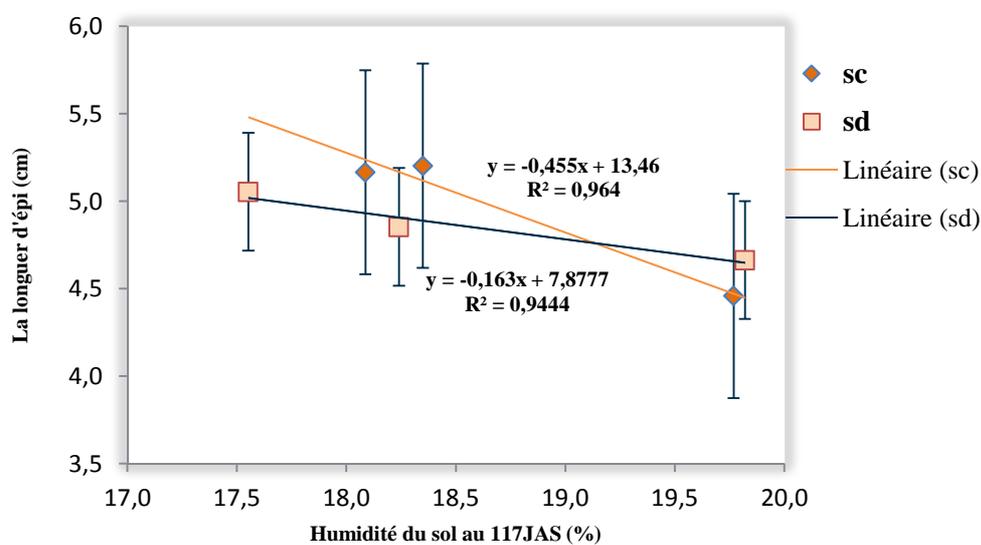
**Figure III-30** : Relation entre le nombre de talles par m<sup>2</sup> et la conductivité hydraulique (mm/h).

- Il existe une corrélation significative et positive entre l'indice de récolte et l'humidité du sol au 67 JAS ( $r = 0.905^*$ ) ( $P < 0.05$ ).



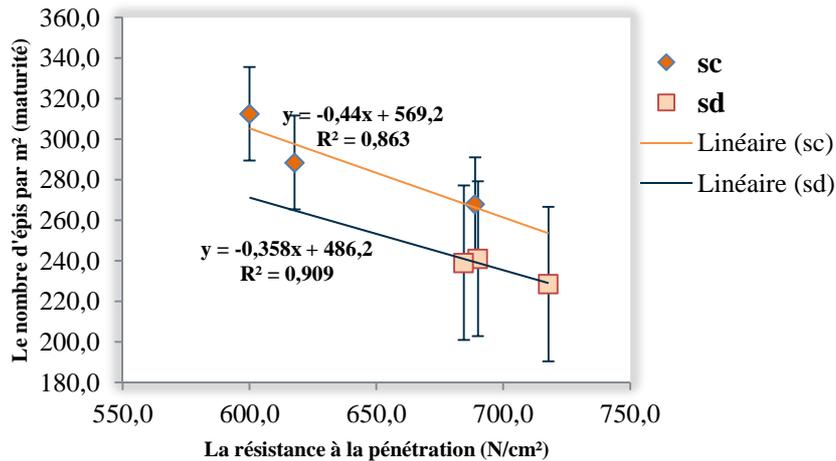
**Figure III-31 :** Relation entre l'indice de récolte (%) et l'humidité du sol au 67 JAS (%).

- la longueur d'épi est corrélée négativement et significativement avec l'humidité du sol au 117 JAS ( $r = -0.836^*$ ) ( $P < 0.05$ ).



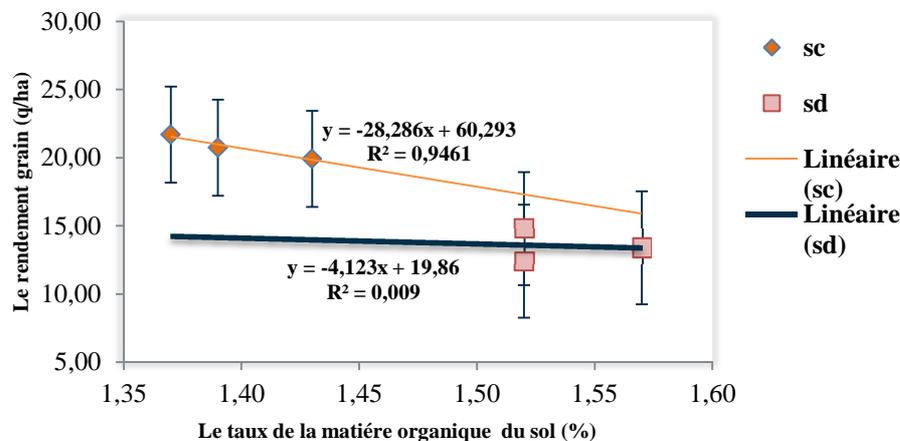
**Figure III-32 :** Relation entre la longueur d'épi (cm) et l'humidité du sol au 117 JAS (%).

- Le nombre d'épis par m<sup>2</sup> au stade maturité est lié négativement et hautement significativement avec la résistance pénétrométrique ( $r = -0.937^{**}$ ) ( $P < 0.01$ ). Le nombre d'épis est réduit dans le sol compact.



**Figure III-33 :** Relation entre le nombre d'épis par m<sup>2</sup> et la résistance à la pénétration (N/cm<sup>2</sup>).

- Le nombre de plants levés par m<sup>2</sup> ( $r = -0.920^{**}$ ) ( $P < 0.01$ ), le nombre de talles par m<sup>2</sup> ( $r = -0.966^{**}$ ) ( $P < 0.01$ ), la surface foliaire ( $r = -0.939^{**}$ ) ( $P < 0.01$ ), la fertilité épi (NGE) ( $r = -0.928^{**}$ ) ( $P < 0.01$ ), et le rendement grain ( $r = -0.955^{**}$ ) ( $P < 0.01$ ) sont corrélés négativement et hautement significativement avec la matière organique.
- Le nombre d'épis au stade épiaison ( $r = -0.814^*$ ) ( $P < 0.05$ ) et le nombre d'épis au stade maturité ( $r = -0.872^*$ ) ( $P < 0.05$ ), la hauteur des plantes ( $r = -0.821^*$ ) ( $P < 0.05$ ), et le rendement biologique ( $r = -0.845^*$ ) ( $P < 0.05$ ) sont corrélés négativement et significativement avec la matière organique. Lorsque la matière organique diminue tous ces paramètres végétaux augmentent. On peut dire que le taux de la matière organique dans le sol influe beaucoup sur la végétation.



**Figure III- 34 :** Relation entre le rendement grain (q/ha) et la matière organique du sol (%).

# **CONCLUSION**

## Conclusion générale

Des systèmes de culture innovants doivent être proposés pour répondre aux nouveaux objectifs de l'agriculture qui devront allier productivité, respect de l'environnement et rentabilité économique. Les systèmes de culture en semis direct permettraient d'atteindre ces objectifs. Si ces systèmes ont en effet montré des intérêts en climat tropical, ils sont presque inexistantes en climat semi aride.

Les travaux expérimentaux menés pour cette thèse ont enrichi les connaissances scientifiques et techniques sur le fonctionnement, en climat semi aride et sur un sol non travaillé, une culture de blé dur associant différents précédents. Ils sont une première étape dans la conception et l'évaluation des pratiques culturales en climat semi aride. Plus particulièrement, ces travaux ont permis de mieux comprendre l'intensité et la dynamique des relations qui s'établissent entre des cultures conduites sur un sol en semis direct ; ils ont aussi permis d'étudier sur ce sol, l'évolution de la structure et des propriétés hydro physiques et biologiques.

Dans cette conclusion générale, on met au clair les apports de ce travail sur le fonctionnement d'un agro système en climat semi aride, en confrontant les données expérimentales. Afin d'étudier le comportement du sol et de la culture de blé dur (*Triticum durum* Desf) variété Boussem sous l'effet de deux pratiques culturales (Travail conventionnel et Semis direct) et de quatre précédents culturaux (jachère travaillée, jachère chimique, pois fourrager, et blé) dans les conditions semi-aride, nous avons réalisé notre expérimentation au cours de la campagne agricole 2013-2014 au niveau de la Station Expérimentale Agricole de l'Institut Technique des Grandes Cultures de Sétif. Le labour conventionnel paraît plus performant que le semis direct pour le rendement grain et ses composantes, et la biomasse aérienne. Mais aucune différence significative n'a été signalé pour le poids de mille grains, le rendement en paille et les caractères morpho-physiologiques (la teneur relative en eau (TRE%), la teneur en chlorophylle, et la surface foliaire). il n'existe pas de différence significative entre les précédents culturaux, mais le précédent blé semble avantageux pour le nombre de talles/m<sup>2</sup> et la fertilité épi. Le précédent pois fourrager conduit à l'amélioration de la biomasse aérienne et le rendement en paille et de la teneur en chlorophylle en cas du sol non labouré, la teneur relative en eau (TRE %) la plus élevée a été marqué avec le précédent jachère. L'étude des caractéristiques du sol indique des différences non significatives entre les traitements pour l'humidité du sol, la densité apparente, et la résistance à la pénétration. Mais le sol non labouré présente une certaine compaction par rapport au sol labouré, qui présente une

meilleure vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol. Ces résultats sont confirmés par la corrélation significative et négative ( $r = -0.873^*$ ) ( $P < 0.05$ ) entre la densité apparente et la vitesse d'infiltration. Le non labour présente une meilleur teneur en matière organique que le labour conventionnel.

**Globalement, les résultats obtenus à travers cette étude confirment l'amélioration du stock organique du sol non labouré, mais n'induit pas obligatoirement une minéralisation de cette matière organique. Ceci joue très favorablement un rôle conséquent sur les fonctionnements biologique et hydrique. Ce qui ressort aussi de cette étude c'est la pertinente stabilité physique du sol en semis direct qui exprime au cours du temps son potentiel de production.**

**REFERENCES**

**BIBLIOGRAPHIQUES**

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdellaoui, Z., Fettih, S., et Zaghoulane, O. 2006.** Etude comparative de l'effet du semis direct et du labour conventionnel sur le comportement d'une culture de blé dur. Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens, n. 69, p. 115-120.
- Abdellaoui, Z., Teskrat, H., Belhadj, A., et Zaghoulane, O. 2011.** Étude comparative de l'effet du travail conventionnel, semis direct et travail minimum sur le comportement d'une culture de blé dur dans la zone subhumide. Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens, n. 96, p. 71-87.
- Abid, M., and Lal, R. 2009.** Tillage and drainage impact on soil quality : II. Tensile strength of aggregates, moisture retention and water infiltration. *Soil Till. Res.*, n. 103, p. 364-372.
- Abu-Hamdeh, N-H. 2002.** Effect of soil manipulation and other field parameters on soil physical properties. Vol: II, p. 99-102, Proceedings of 12<sup>th</sup> ISCO Conference, May 26-31, Beijing, China.
- Acevedo, E., Silva, P., and Silva, H. 2002.** Wheat growth and physiology. In Curtis, B-C., Rajaram, S., and Gomez Macpherson, H. (Eds.). 2002. *Bread Wheat, Improvement and Production*. FAO Plant Production and Protection Series. p.3.
- Afzalnia, S., and Zabihi, J. 2014.** Soil compaction variation during corn growing season under conservation tillage. *Soil Till. Res.*, n. 137, p. 1-6.
- Ahmad, S-A., Husain, H., Ali, H., and Ahmad, A. 2005.** Transplanted fine rice (*Oryza sativa* L.) productivity as affected by plant density and irrigation regimes, *Int. J. Agric. Biol.*, n.7, p. 445-447.
- Ahmadi, N., Hekimian, L-C., Marchand, J-L., et Ouendeba, B. 2002.** *Memento de l'agronome*. France : Quae. 778 p.
- Ahuja, L-R., Ma, L-W., and Timlin, D-J. 2006.** Trans-disciplinary soil physics research critical to synthesis and modeling of agricultural systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, n. 70, p. 311-326.
- Allen, R-G., Pereira, L-S., Raes, D., and Smith, M. 1998.** Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. *FAO Irrig. and Drain.* Paper 56. FAO, Rome. 300 p.
- Altikat, S., and Celik, A. 2011.** The effects of tillage and intra-row compaction on seedbed properties and red lentil emergence under dry land conditions. *Soil Till. Res.*, n. 114, p. 1-8.
- Andruschkewitsch, G., Geisseler, D., Koch, H., and Ludwig, B. 2013.** Effects of tillage on contents of organic carbon, nitrogen, water-stable aggregates and light fraction for four different long-term trials. *Geode.*, n. 192, p. 368-377.
- Angers, D-A., Samson, N., and Legere, A. 1993.** Early changes in water-stable aggregation induced by rotation and tillage in a soil under barley production. *Can. J. Soil Sci.*, n. 73, p. 51-59.
- Angers, D-A., Bolinder, M-A., Carter, M-R., Gregorich, E-G., Drury, C-F., Liang, B-C., Vovoney, R-P., Simard, R-R., Donald, R-G., Beyaert, R-P., and Martel, J. 1997.** Impact of tillage practices on organic carbon and nitrogen storage in cool, humid soils of eastern Canada. *Soil Till. Res.*, n. 41, p. 191-201.
- Angers, D-A., and Caron, J. 1998.** Plant-induced changes in soil structure: processes and feedbacks. *Biogeo.*, n. 42, p. 55-72.
- Anken, T., Weiskopf, P., Zihlmann, U., Forrer, H., Jansa, J., and Perhacova, K. 2004.** Long-term tillage system effects under moist cool conditions in Switzerland. *Soil Till. Res.*, n. 78, p. 171-183.
- Ankeny, M-D., Kaspar, T-C., and Horton, R. 1990.** Characterization of tillage and traffic effects on unconfined infiltration measurements. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, n. 54, p. 837-840.
- Ankeny, M-D., Ahmed, M., Kaspar, T-C., and Horton, R. 1991.** Simple field method for determining unsaturated hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, n. 55, p. 467-470.
- Annicchiarico, P., Bellah, F., and Chiari, T. 2005.** Defining sub regions and estimating benefits for a specific adaptation strategy by breeding programs: a case study. *Crop Sci.*, n. 45, p. 1741-1749.
- Aragón, A., García, M-G., Filgueira, R-R., et Pachepsky, Y-A. 2000.** Maximum compactibility of Argentine soils from the Proctor test; the relationship with organic carbon and water content. *Soil Till. Res.*, n. 56, p. 197-204.
- Araus, J-L., Villegas, D., Aparicio, N., Garcia del Moral, L-F., El Hani, S., Rharrabti, Y., Ferrio, J-P., and Royo, C. 2003.** Environmental factors determining carbon isotope discrimination and yield in durum wheat under Mediterranean conditions. *Crop Sci.*, n. 43, p. 170-180.
- Arora, V-K., Gajri, P-R., and Prihar, S-S. 1991.** Tillage effects on corn in sandy soils in relation to water retentivity, nutrient and water management and seasonal evaporativity. *Soil Till. Res.*, n. 21, p. 1-21.
- Arshad, M-A., Franzluebbers, A-J., and Azooz, R-H. 1999.** Components of surface soil structure under conventional and no-tillage in north-western Canada. *Soil Till. Res.*, n. 53, p. 41-47.

- Arvidsson, J. 1998.** Effects of cultivation depth in reduced tillage on soil physical properties, crop yield and plant pathogens. *Eur. J. Agron.*, n. 9, p. 79–85.
- Arvidsson, J., Rydberg, T., and Feiza, V. 2000.** Early sowing – a system for reduced seedbed preparation in Sweden. *Soil Till. Res.*, n. 53, p. 145–155.
- Aubertot, J-N., Colbach, N., Felix, I., Munier-Jolain, , Estrade, J-R. 2006.** Chapitre 8 : La composante biologique partie 3 : effets des systèmes de culture sur l'évolution des états du milieu cultivé. In Doré, T., Estrade, J-R., Ney, B., Marianne, L., Martin, P. *L'agronomie Aujourd'hui*. Edition : Quae. p. 199-223.
- Avnimelech, Y., Ritvo, G., Meijer, L-E., and Kochba, M. 2001.** Water content, organic carbon and dry bulk density in flooded sediments. *Aquacul. Engin.*, n. 25, p. 25–33.
- Azooz, R-H. and Arshad, M-A. 1996.** Soil infiltration and hydraulic conductivity under long term no-tillage and conventional tillage systems. *Can. J. Soil Sci.*, n. 76, p. 143-152.
- Badalíkova, B. 2010.** Influence of soil tillage on soil compaction. In Dedousis, A-P., and Bartzanas, T. (Eds.). *Soil Engineering, Soil Biology 20*. Springer-Verlag, Berlin: Heidelberg. p. 19–30.
- Badshah, M.A., Tu, N., Zou, Y., Ibrahim, M., and Wang, K. 2014.** Yield and tillering response of super hybrid rice Liangyoupeijiu to tillage and establishment methods. *The Crop J.*, n. 2, p. 79-86.
- Bagayoko, M., Buerkert, A., Lung, G., Bationo, A., and Romheld, V. 2000.** Cereal/ Legume rotation affect on cereal growth in Suduano- Sahalian West Africa: Soil mineral nitrogen, mycorrhize and nematodes. *Plant and Soil*, n. 218, p. 103-116.
- Baggs, E-M., Stevenson, M., Pihlatie, M., Regar, A., Cook, H., and Cadisch, G. 2003.** Nitrous oxide emissions following application of residues and fertiliser under zero and conventional tillage. *Plant and Soil*, n. 254, p. 361-370.
- Baker, J-M., Ochsner, T-E., Venterea, R-T., and Griffis, T-J. 2007.** Tillage and soil carbon sequestration – what do we really know?. *Agric. Ecosyst. Environ.*, n. 118, p. 1–5.
- Balesdent, J., Chenu, C. and Balabane, M. 2000.** Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil Till. Res.*, n. 53, p. 215-230.
- Barnes, J-P., and Putnam, A-R. 1983.** Rye residues contribute weed suppression in no-tillage cropping systems. *J. Chem. Eco.*, n. 9, p. 1045–1057.
- Barriuso, E., Calvet, R., and Cure, B. 1994.** Incidence de la simplification du travail du sol sur le comportement des produits phytosanitaires : conséquences sur les risques de pollution. In Monnier, G., Thevenet, G., Lesaffre, B. (Eds.), *Simplification du travail du sol*, Vol. 65, Paris : INRA éditions. p. 105-124
- Basic, F., Kiscic, I., Mesic, M., Nestroy, O. and Butorac, A. 2004.** Tillage and crop management effects on soil erosion in central Croatia. *Soil Till. Res.*, n. 78, p. 197–206.
- Batouche, S., et Labiod, H. 1991.** Les sols des Hautes Plaines sétifiennes. Inventaire, analyse et synthèse des études pédologiques réalisées dans cette régions de 1965 à 1985: Essais de yhématization. Mémoire d'ingénieur: Université Ferhat Abbas Sétif. 133 p., cartes et annexes.
- Batten, G-D. 1992.** A review of phosphorus efficiency in wheat. *Plant and Soil*, n. 146, p. 163–168.
- Battigner, R., Tramoy, M., Asdrubal, M., et Pretet, J. 2011.** *La photosynthèse*. 3ème édition. Paris : Educagri. 132 p.
- Baumhardt, R-L., and Jones, O-R. 2002.** Residue management and tillage effects on soil water storage and grain yield of dryland wheat and sorghum for a clay loam in Texas. *Soil Till. Res.*, n. 68, p. 71-82.
- Baumhardt, R-L., and Lascano, R-J. 1996.** Rain infiltration as affected by wheat residue amount and distribution in ridged tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, n. 60, p. 1908–1913.
- Bayer, J-S. 1969.** Measurement of plant water status. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, n. 20, p. 351-364.
- Beche, E., Benin, G., da Silva, C-L. , Munaro, L-B., and Marchese, J-A. 2014.** Genetic gain in yield and changes associated with physiological traits in Brazilian wheat during the 20th century. *Eur. J. Agron.*, n. 61, p. 49–59.
- Belagrouz, A. 2013.** Analyse du Comportement du Blé Tendre, Variété El WIFAK (*Triticum aestivum L.*) Conduite en Labour Conventionnel, Travail Minimum et Semis Direct sur les Hautes Plaines Sétifiennes. Mémoire de magister: Université Ferhat Abbas Sétif. 87 p.
- BELAID, D. 1990.** *Eléments de phytotechnie générale*. Alger : O.P.U. p. 154-157.
- Benbelkacem, A. 1996.** Adaptation of cereal cultivars to extreme agroecologic environments of North Africa. *Field crops Res.*, n. 45, p. 49-55.
- Benlaribi, M., Monneveux, P., et Grignac, P. 1992.** Etude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum Durum* Desf.). *Agron.*, n. 10, p. 305 - 313.
- Bennaceur, M., Nailly, M., et Selmi, M. 1999.** Effet d'un déficit hydrique, survenant à différents stades de développement du blé, sur l'humidité du sol, la physiologie de la plante et sur les composantes du rendement. *MEDIT*, n. 2, p. 53-60.
- Bescansa, P., Imaz, M., Virto, I., Enrique, A., and Hoogmoed, W. 2006.** Soil water retention as affected by tillage and residue management in semiarid Spain. *Soil Till. Res.*, n. 87, p. 19–27.

- Bessam, F. 1999.** Influence des travaux du sol et management des cultures sur la matière organique et sa qualité. Diplôme des Etudes Supérieures Approfondies : Faculté des Sciences. Université Chouaib Doukkali, El Jadida Maroc. 84p.
- Bhatt, R., and Khera, K-L. 2006.** Effect of tillage and mode of straw mulch application on soil erosion in the submontaneous tract of Punjab, India. *Soil Till. Res.*, n. 88, p. 107–115.
- Bhattacharyya, R., Prakash, V., Kundu, S., Srivastva, A-K., and Gupta, H-S. 2009.** Soil aggregation and organic matter in a sandy clay loam soil of the Indian Himalayas under different tillage and crop regimes. *Agri. Eco. Env.*, n. 132, p. 126–134.
- 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 Till. Res.*, n. 86, p. 129–140.
- Bindi, M., Fibbi, L., Gozzini, B., Orlandini, S., and Miglietta, F. 1996.** Modelling the impact of future climate scenarios on yield and yield variability of grapevine. *Climate Res.*, n. 7, p. 213-224.
- Bindraban, P-S., Sayre, K-D., and Solis-Moya, E. 1998.** Identifying factors that determine kernel number in wheat. *Field Crops Res.*, n. 58, p. 223–234.
- 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 Sci. Soc. Am. J.*, n. 68, p. 567-576.
- Blanco-Canqui, H., Lal, R., Post, W-M., Izaurralde, R-C., and Shipitalo, M-J. 2006.** Organic carbon influences on soil particle density and rheological properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, n. 70, p. 1407–1414.
- Blanco-Canqui, H., and Lal, R. 2007.** No-tillage and soil-profile carbon sequestration: anon-farm assessment. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, n. 72, p. 693–701.
- Blevins, R-L., and Frye, W-W. 1993.** Conservation tillage: an ecological approach to soil management. *Adv. Agron.*, n. 51, p. 33–78.
- Blevins, R-L., Cook, D., Phillips, S-H., et Phillips, R-E. 1971.** Influence of no tillage on soil moisture. *Agron. J.*, n. 63, p. 593-597.
- Blevins, R-L., Thomas, G-W., Smith, M-S., Frye, W-W., and Cornelius, P-L. 1983.** Changes in soil properties after 10 years continuous non-tilled and conventionally tilled corn. *Soil Till. Res.*, n. 3, p. 135–146.
- Blum, A. 1988.** *Plant breeding for stress environments*. USA : CRC Press Inc Florida. 223 p.
- Blum, A., and Pnuel, Y. 1990.** Physiological attributes associated with drought resistance of wheat cultivars in a mediterranean environment. *Aus. J. Agri. Res.*, n. 41, p. 799-810.
- Bonfil, D-J., Mufradi, I., Klitman, S., and Asido, S. 1999.** Wheat grain yield and soil profile water distribution in a no-till arid environment. *Agron. J.*, n. 91, p. 368–373.
- Bonjean, A., et Picard, E. 1990.** *Les céréales à paille : origine, histoire, économie, sélection*. Paris: Softword – Groupe ITM. 208 p.
- Boomsma, C-R., Santini, J-B., West, T-D., Brewer, J-C., McIntyre, L-M., and Vyn, T-J. 2010.** Maize grain yield responses to plant height variability resulting from crop rotation and tillage system in a long-term experiment. *Soil Till. Res.*, n. 106, p. 227–240.
- Botta, G., Pozzolo, O., Tourn, M., Soza, E., Rosatto, H., Ressia, J-M., Vazquez, J., and Stadler, S. 2007.** Soil compaction during maize (*Zea Mays* L.) harvest: three different traffic alternatives. In : Proceedings of the IV CADIR (Argentine Congress on Agricultural Engineering 2005–2007), Vol. 7, Argentina, p. 24–34.
- Bouaziz, A. 1987.** Implantation d'un peuplement de blé tendre en conditions sèches : Analyse physique et modélisation. Thèse de Doctorat : Es-Sciences Agronomiques. LAV HASSAN I.
- 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. Mémoire de magister : Université Ferhat Abbas Sétif. 94 p.
- Boufenar-Zaghouane, F., et Zaghouane, O. 2006.** *Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie (Blé dur, blé tendre, orge et avoine)*. 1 ère édition. Alger: ECRIE. 154 p.
- Boulal, H., Zaghouane, O., EL Mourid, M., et Rezgui, S. 2007.** Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Algérie : ITGC, INRA, ICARDA. 176 p.
- Boulal, H., Mateos, L., and Gómez-Macpherson, H. 2011.** Soil management and traffic effects on infiltration of irrigation water applied using sprinklers. *Irrig. Sci.*, n. 29, p. 403–412.
- Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Benkharbache, A., et Hassous, A. 2002.** Contribution des nouvelles obtentions à l'amélioration et à la stabilité du rendement d'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zone semi-aride d'altitude. *Re. Rech. Agron. INRAA*, n. 10, p. 45-58.
- Bouzerzour, H., Mahnane, S., et Makhlouf, M. 2006.** Une association pour une agriculture de conservation sur les hautes plaines orientales semi-arides d'Algérie. Options méditerranéennes : Série A, n. 69, p. 107-111.
- Bouzara, S., et O. Ferroukh, H. 2010.** Influence du semis direct et des techniques culturales simplifiées sur les propriétés d'un sol de ferme pilote Sersour (Sétif). Les actes des 4e Rencontres Méditerranéennes du Semis Direct. Sétif Algérie 3, 4, et 5 mai 2010. *Rech. agron.*, n. spécial. p. 83-89.
- Bouzza, A. 1990.** Water conservation in wheat rotations under several management and tillage systems in semiarid areas. Ph.D. Dissertation, University of Nebraska, Lincoln, USA. 200 p.

- Bouzza, A. 1992.** Conservation tillage in cereal production systems in Morocco: A future perspective. In Bourarach, E-H., Oussible, M., Bouaziz, A., El Himdy, B. (Eds.). Proceedings of international seminar on tillage in arid and semiarid areas. April 1992. Rabat, Morocco. 248 p.
- Brennan, J., Hackett, R., McCabe, T., Grant, J., Fortune, R-A., and Forristal, P-D. 2014.** The effect of tillage system and residue management on grain yield and nitrogen use efficiency in winter wheat in a cool Atlantic climate. *Eur. J. Agron.*, n. 54, p. 61-69.
- Bronick, C-J., and Lal, R. 2005.** Soil structure and management: a review. *Geode.*, n. 124, n. 1-2, p 3-22.
- Buhler, D-D. 1992.** Population dynamics and control of annual weeds in corn (*Zea mays*) as influenced by tillage systems. *Weed Sci.*, n. 40, p. 241-248.
- Bullock, D-G., and Anderson, D-S. 1998.** Evaluation of the Minolta SPAD-502 chlorophyll meter for nitrogen management in corn. *J. Plant Nutr.*, n. 21, p. 741-755.
- Busscher, W-J. 1990.** Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. *Trans. of the ASAE*, n. 33, p. 519-524.
- Busscher, W-J., Bauer, P-J., Camp, C-R., and Sojka, R-E. 1997.** Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. *Soil Till. Res.*, n. 43, p. 205-217.
- Bustos, D-V., Hasan, A-K., Reynolds, M-P., and Calderini, D-F. 2013.** Combining high grain number and weight through a DH-population to improve grain yield potential of wheat in high-yielding environments. *Field Crops Res.*, n. 145, p. 106-115.
- Cannel, R-Q. 1985.** Reduced tillage in north-west Europe-A Review. *Soil Till. Res.*, n. 5, p. 129-177.
- Cannell, R-Q., and Hawes, J-D. 1994.** Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates. *Soil Till. Res.*, n. 30, p. 245-282.
- Cantero-Martínez, C., Anga's, P., and Lampurlane's, J. 2003.** Growth, yield and water productivity of barley (*Hordeum vulgare*, L.) affected by tillage and N fertilization in Mediterranean semiarid, rainfed conditions of Spain. *Field Crops Res.*, n. 84, p. 342-357.
- Cao, Z-H., De Datta, S-K., and Fillery, I-R-P. 1984.** Nitrogen-15 balance and residual effects of urea-N in wetland rice fields as affected by deep placement techniques. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, n. 48, p. 203-208.
- Carr, P-M., Horsley, R-D., and Poland, W-W. 2003.** Tillage and seeding rate effects on wheat cultivars: I. grain production. *Crop Sci.*, n. 43, p. 202-209.
- Carter, M-R., and Rennie, D-A. 1987.** Effects of tillage on deposition and utilization of 15N residual fertilizer. *Soil Till. Res.*, n. 9, p. 33-43.
- Carter, M-R., Sanderson, J-B., Ivany, J-A., and White, R-P. 2002.** Influence of rotation and tillage on forage maize productivity, weed species, and soil quality of a fine sandy loam in the cool-humid climate of Atlantic Canada. *Soil Till. Res.*, n. 67, p. 85-98.
- Catt, J-A., Howse, K-R., Christian, D-G., Lane, P-W., Harris, G-L., and Goss, M-J. 2000.** Assessment of tillage strategies to decrease nitrate leaching in the Brimstone Farm Experiment, Oxfordshire, UK. *Soil Till. Res.*, n. 53, p. 185-200.
- Caviglia, O-P., and Sadras, V-O. 2001.** Effect of nitrogen supply on crop conductance, water- and radiation-use efficiency of wheat. *Field Crops Res.*, n. 69, p. 259-266.
- Chaabane, M. 2011.** L'agriculture de conservation : voie de sécurité alimentaire dans les pays du Maghreb ?. Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens, n. 96, p. 189-208.
- Chan, K-Y. 2001.** Soil particulate organic carbon under different land use and management. *Soil Use Manage.*, n. 17, p. 217-221.
- Chanasyk, D-S., and Naeth, M-A. 1995.** Grazing impacts of bulk density and soil strength in the foothill fescue grasslands of Alberta Canada. *Canadian J. Soil Sc.*, n. 75, p. 551-557.
- Charbonnier, C. 2012.** Fertilisation des Grandes Cultures. Édition: ARVALIS. 4p.
- Charonnat, C., et Deblay, S (ENESAD). 2013.** *Croissance et développement des plantes cultivées*. France: Educagri Amazon. 98 p.
- Chastin, T-G., Ward, J-K., and Wysocki, D-J. 1995.** Stand establishment response of soft winter wheat to seed bed residue and seed size. *Crop Sci.*, n. 35, p. 213-218.
- Chawel, A. 1977.** Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. Evolution et réorganisation des sols rouges de moyenne Casamance. Thèse : université de Strasbourg. ORSTOM, Paris. *Coll. Trav. et DO.*, n. 62, 532 p.
- Chehat, F. 2006.** Les politiques céréalières en Algérie. Rapport annuel. Agri-Med. Agriculture, Pêche, Alimentation et développement rural durable dans la région méditerranéenne. CIHEAM. 2006.
- Chehat, F. 2007.** Analyse macroéconomique des filières, la filière blés en Algérie. Projet PAMLIM « Perspectives agricoles et agroalimentaires Maghrébines Libéralisation et Mondialisation » Alger : 7-9 avril 2007.
- Chehili, S., et Boudjoudjou, D. 2013.** Potentialité de la productivité d'une collection de blé dur (*Triticum durum* Desf.) en conditions semi-aride de Sétif. Mémoire d'ingénieur : université Ferhat Abbas Sétif. 47 p.
- Chen, S., Xia, G-M., Zhao, W-M., Wu, F-B. and Zhang G-P. 2007.** Characterization of leaf photosynthetic properties for no-tillage rice. *Rice Sci.*, Vol. 14, n. 4, p. 283-288.

- Chen, Y., Tessier, S., Cavers, C., Xu, X., and Monero, F. 2005.** A survey of crop residue burning practices in Manitoba. *Appl. Eng. Agric.*, n. 21, p. 317–323.
- Chen, Y., Liu, S., Li, H., Li, X-F., Song, C-Y., Cruse, R-M., and Zhang, X-Y. 2011.** Effects of conservation tillage on corn and soybean yield in the humid continental climate region of Northeast China. *Soil Till. Res.*, n. 115, p. 56–61.
- Chen, X-W., Zhang, X-P., Liang, A-Z., Jia, S-X., Shi, X-H., Fan, R-Q., and Wei, S-C. 2012.** Effects of tillage mode on black soil's penetration resistance and bulk density. *Chin. J. Appl. Eco.*, n. 23, p. 439–444.
- Chennafi, H. 2012.** Amélioration de la Productivité du Blé en Environnement déficitaire en eau. *Agric. UNVSETIF.*, n. 3, p. 24-29.
- Chennafi, H., and Saci, A. 2012.** The performances of Durum Wheat Yield (*Triticum durum* Desf.) under Tillage Effect in Semi-Arid Environment. *Ener. Proc.*, n. 18, p. 879 – 887.
- Chennafi, H., Bouzerzour, H., Aidaoui, A., et Chenafi, A. 2008a.** Positionnement des exigences en eau de la culture du blé dur avec l'avènement du déficit climatique en milieu semi-aride des Hautes Plaines Sétifiennes (Algérie). In : Proceedings of the 5th International Conference on Land Degradation. Valenzanos, Bari, Italy, 18-22 September 2008, p. 59-62.
- Chennafi, H., Bouzerzour, H., Saci A., et Chenafi A. 2008b.** La pratique des façons culturales sur la culture du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en environnement semi-aride. In: Proceedings of the 5th International Conference on Land Degradation. Valenzanos, Bari, Italy, 18-22 September 2008, p. 63-67.
- Chennafi, H., Hannachi, A., Touahria O., Fellahi, ZEA., Makhoulouf, M., et Bouzerzour, H. 2011.** Tillage and residue management effect on durum wheat [*Triticum turgidum* (L.) Thell.ssp. *turgidum* conv. *durum* (Desf.) MacKey] growth and yield under semi- arid climate. *Adv. In Env. Bio.*, n. 5. p. 3231-3240.
- Chinoy, J-J. 1960.** Physiology of drought resistance in wheat. I. Effect of wilting at different stages of growth on survival values of eight varieties of wheat belonging to seven species. *Phyton.*, n. 14, p. 147–157.
- Choudhary, V-K., Kumar, P-S., and Bhagawati, R. 2013.** Response of tillage and in situ moisture conservation on alteration of soil and morpho-physiological differences in maize under Eastern Himalayan region of India. *Soil Till. Res.*, n. 134, p. 41–48.
- Chouinard, P., and Messicote, D. 2000.** Gestion optimale de la fertilisation: les principes de base. Module 4 fertilisations, Le guide des Pratiques de conservation en grande culture. Centre de référence agronomique et agroalimentaire au Québec (CRAAQ). CPVQ. 12 p.
- Cid, P., Carmona, I., Murillo, J-M., and Gómez-Macpherson, H. 2014.** No-tillage permanent bed planting and controlled traffic in a maize-cotton irrigated system under Mediterranean conditions: Effects on soil compaction, crop performance and carbon sequestration. *Eur. Jour. of Agron.*, n. 61, p. 24–34.
- Clemmensen, K., Bahr, A., Ovaskainen, O., Dahlberg, A., Ekblad, A., Wallander, H., Stenlid, J., Finlay, R., Warle, D., and Lindahl, B. 2013.** Roots and associated fungi drive long-term carbon sequestration in boreal forest. *Sci.*, n. 339, p. 1615–1618.
- Clément, J-M. 1981.** *Larousse agricole*. Paris : Larousse. 1208 p.
- Coll, L., Balandier, P., Picon-Cochard, C., Prévosto, B., and Curt. 2003.** Competition for water between beech seedlings and surrounding vegetation in different light and vegetation composition conditions. *Ann. For. Sci.*, n. 60, p. 593–600.
- Collange, B., Navarrete, M., Montfort, F., Mateille, T., Tavoillot, J., Martiny, B., and Tchamitchian, M. 2014.** Alternative cropping systems can have contrasting effects on various soil-borne diseases : relevance of a systemic analysis in vegetable cropping systems. *Crop protect.*, n. 55, p. 7-15.
- Coquet, Y., Boucher, A., Labat, C., Vachier, P., et Roger-Estrade, J. 2000** – Caractérisation hydrodynamique des sols à l'aide de l'infiltromètre à disques. *Étude et Gestion des Sols*, n. 7, p. 7-24.
- Conseil International des Céréales (CIC). 2010.** World Grains Statistics. London, UK.
- Conseil International des Céréales (CIC). 2014.** Monde-Données globales et par pays sur le marché des céréales. Publié le 27/06/2014. *AGPB*. (site :<http://www.agpb.com/sinscrire/registers>)
- Coquet, Y., Vachier, P., and Labat, C. 2005.** Vertical variation of near-saturated hydraulic conductivity in three soil profiles. *Geode.*, n. 126, p. 181-191.
- Costa Junior, C., Corbeels, M., Bernoux, M., Pi'ccolo, M-C., Siqueira Neto, M., Feigl, B-J., Cerri, C-E-P., Cerri, C-C., Scopel, E., and Lal, R. 2013.** Assessing soil carbon storage rates under no-tillage: Comparing the synchronic and diachronic approaches. *Soil Till. Res.*, n. 134, p. 207–212.
- Crystel, L. 2014.** Le marché du blé dur : service agronomie- Economie-Environnement. Mercredi 06 Février 2014. Édition : ARVALIS. n. 79. 25 p.
- Daidache, A., et Biad, S. 2012.** Etude de la variabilité morphophysologique des populations F6 de blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride. Mémoire d'ingénieur : université Ferhat Abbas Sétif. 39 p.
- Dajoz, R. 2003.** *Précis d'écologie*. 7<sup>ème</sup> édition. Paris : Dunod. 615 p.
- 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 Till. Res.*, n. 84, p. 41–53.

- Dao, T-H. 1993.** Tillage and winter wheat residue management effects on water infiltration and storage. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, n. 57, p. 1586–1595.
- Das, A., Lal, R., Patel, D-P., Idapuganti, R-G., Layek, J., Ngachan, S-V., Ghosh, P-K., Bordoloi, J., and Kumar, M. 2014.** Effects of tillage and biomass on soil quality and productivity of lowland rice cultivation by small scale farmers in North Eastern India. *Soil Till. Res.*, n. 143, p. 50–58.
- Davidson, H-R., and Campbell, C-A. 1983.** The effect of temperature, moisture and nitrogen on the rate of development of spring wheat as measured by degree days. *Can. J. Plant Sci.*, n. 63, p. 833–846.
- Davis, A-S., Renner, K-A., and Gross, K-L. 2005.** Weed seedbank community shifts in a long-term cropping experiment. *Weed Sci.*, n. 53, p. 296–306.
- de Jésus, Jr. W-C., do Vale, F-X-R., Coelho, R-R., and Costa, L-C. 2001.** Comparison of two methods for estimating leaf area index on common bean. *Agron. J.*, n. 93, p. 989–991.
- De Vita, P., Nicosia, O-L-D., Nigro, F., Platani, C., Riefolo, C., Fonzo, N-D., and Cattivelli, L. 2007a.** Breeding progress in morpho-physiological, agronomical and qualitative traits of durum wheat cultivars released in Italy during the 20th century. *Eur. J. Agron.*, n. 26, p. 39-53.
- De Vita, P., Di Paolo, E., Fecondo, G., Di Fonzo, N., and Pisante, M. 2007b.** No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. *Soil Till. Res.*, n. 92, p. 69–78.
- Debaeke, Ph. 1990.** Effets de systèmes de cultures diversement intensifiés sur la composition et la dynamique de la flore adventice des céréales d’hiver. EWRS Symp., On integrated weed Management in cereals, I, p. 143-152.
- Debaeke, P., and Orlando, D. 1994.** Simplification du travail du sol et évolution de la flore adventice : conséquences pour le désherbage à l’échelle de la rotation. In Monnier, G., Thevenet, G., Lesaffre, B. (Eds.), *Simplification du travail du sol*, INRA éditions, Paris (France). p. 35-62.
- Debashis, C., Shantha, N., Pramila, A., Gupta, V-K., Tomar, R-K., Garg, R-N., Sahoo, R-N., Sarkar, A., et Chopra, U-K. 2008.** Effect of mulching on soil, plant water status, growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) in a semi-arid environment. *Agri. Water Manage.*, n. 95, p. 1323–1334.
- DeLaune, P-B., Sij, J-W. 2012.** Impact of tillage on runoff in long term no-till wheat systems, *Soil Till. Res.*, n. 124, p. 32-35.
- Delmas, P. 2005.** Repères. *Grain sel.*, Décembre 2005-Février 2006, n. 33. 2p.
- Dexter, A-R. 1991.** Amelioration of soil by natural processes. *Soil Till. Res.*, 2007, n. 20, p. 87–100.
- Dexter, A-R. 1997.** Physical properties of tilled soils. *Soil Till. Res.*, 2007, n. 43, p. 41–63.
- Dexter, A-R., Czyż, E-A., and Gafe, O-P. 2007.** A method for prediction of soil penetration resistance. *Soil Till. Res.*, 2007, n. 93, p. 412–419.
- Dill-Macky, R., and Jones, R-K. 2000.** The effect of previous crop residues and tillage on fusarium head blight of wheat. *Plant Dis.*, n. 84, p. 71-76.
- Djaidjaa, Z. 2013.** Influence des systèmes de cultures et des rotations sur le sol et le végétal en zone semi-arides. Mémoire de Magister : Université Saad Dahlab de Blida. 124 p.
- Djaouti, M. 2010.** Renforcement des capacités des acteurs de la filière céréale en Algérie dans le cadre d’un partenariat Nord-Sud : Cas de la Wilaya de Sétif. Master of Science n° 106: IAMM, Montpellier. 120 p.
- Djermoun, A. 2009.** La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. *Nat. Techn.*, Juin 2009, n. 01, p. 45-53.
- Donald, C-M. 1962.** In search of high yield. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.*, n. 28, p. 171-178.
- Donald, C-M., and Hamblin, J. 1976.** The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. *Adv. Agron.*, n. 28, p. 361-405.
- Doorenbos, J., Kassam, H., Bentverlsen, C-L-M., and Branscheid, V. 1987.** *Réponses des rendements à l’eau*. Italie: FAO. 235 p.
- Doraiswamy, P-C., and Thompson, D-R. 1982.** A crop moisture stress index for large areas and its application in the prediction of spring wheat. *Agric. Meteorol.*, n. 27, p. 1–15.
- Doran, J-W. 1980.** Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, n. 44, p. 765–771.
- Dordas, C. 2009.** Dry matter, nitrogen and phosphorus accumulation, partitioning and remobilization as affected by N and P fertilization and source–sink relations. *Eur. J. Agron.*, n. 30, p. 129-139.
- Dorioz, J-M., Robert, M., and Chenu, C. 1993.** The role of roots, fungi and bacteria on clay particle organization. An experimental approach. *Geode.*, n. 56, p. 179-194.
- Douville, Y. 2000.** Prévention des mauvaises herbes en grandes cultures. Ministère de l’Agriculture, des Pêcheries et de l’Alimentation. Québec, Saint-Laurent. 23 p.
- Du Toit, G. Van, N., Snyman, H-A., and Malan, P-J. 2009.** Physical impact of grazing by sheep on soil parameters in the Nama Karoo subshrub/grass rangeland of South Africa. *J. Arid Env.*, n. 73, p. 804–810.
- Du, X-b., Chen, C., Luo, L-j., Xia, L-p., Liu, K., Chen, Y-h., and Yu, X-q. 2014.** Long-Term No-Tillage Direct Seeding Mode for Water-Saving and Drought-Resistance Rice Production in Rice-Rapeseed Rotation System. *Rice Sci*, Vol.21, n.4, p. 210-216.

- Duchaufour, J. 1997.** *Abrégé de pédologie. Sol, végétation, environnement.* Paris: Masson. 291 p.
- Dumanski, J., Peiretti, R., Benites, J-R., McGarry, D., and Pieri, C. 2006.** The paradigm of conservation tillage. In: Proc. World Assoc. *Soil Water Conserv.*, vol. 1, p. 58–64.
- Dwyer, L-M., and Stewart, D-W. 1987.** Influence of photoperiod and water stress on growth, yield and development rate of barley measured in heat units. *Can. J. Plant Sci.*, n. 67, p. 21–34.
- Edwards, C-A., and Loftly, J-R. 1982.** The effect of direct drilling and minimal cultivation on earthworm populations. *J. App. Eco.*, n. 19, p. 723-734.
- Edwards, J-H., Thurlow, D-L., and Ruf, M-E. 1992.** Tillage and crop rotation effects on fertility status of a hapludult soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, n. 56, p. 1577–1582.
- Ehdaie, B., and Wainnes, J-G. 2001.** Sowing date and nitrogen rate effects on dry matter and nitrogen partitioning in bread and durum wheat. *Field Crops Res.*, n.73, p. 47–61.
- Ehlers, W., Kopke, U., Hesse, F., and Bohm, W. 1983.** Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. *Soil Till. Res.*, n. 3, p. 261–275.
- El-Brahli, A., et Mrabet, R., 2001.** La jachère chimique : Pour relancer la céréaliculture non-irriguée en milieu semi-aride Marocain. In: Actes de la Journée nationale sur le désherbage des céréales, INRA, Settat – Maroc, 23 Novembre 2000, p. 133–145.
- Elissondo, E., Costa, J.L., Suero, E., Fabrizzi, K.P., and Garcia, F. 2001.** Evaluation of some physical properties of soil after the introduction of vertical tillage on soil under no tillage. *Soil Science*, n. 19, p. 11-19. (traduit en anglais).
- Elliot, D-E., Reuter, D-J., Reddy, G-D., and Abbot, R-J., 1997.** Phosphorus nutrition of spring wheat (*Triticum aestivum* L.). 1. Effects of phosphorus supply on plant symptoms, yield, components of yield, and plant phosphorus uptake. *Aust. J. Agric. Res.*, n. 48, p. 855–867.
- El Titi, A. 2003a.** *Soil tillage in agroecosystems.* CRC Press, New-York (USA).
- El Titi, A. 2003b.** Effects of tillage on invertebrates in soil ecosystems. In El Titi, A. (Ed.). 2003. *Soil tillage in agroecosystems.* New-York : CRC Press. p. 261-296.
- El Titi, A. 2003c.** Implications of soil tillage for weed communities. In El Titi, A. (Ed.). 2003. *Soil tillage in agroecosystems.* New-York : CRC Press. p. 147-185.
- Engledow, F-L., Wadham, S-M. 1923.** Investigation on yield in cereals. *J. J. Agric. Sci. Camb.*, n. 13, p. 390-439.
- Epestein, E. 1972.** Les plantes et les nutriments inorganiques: la nutrition des plantes est d'une importance primordiale dans le royaume de a vie terrestre et dans l'aventure humaine. In William, G-H. 2003. *Physiologie végétale.* 1 ère édition. Paris Bruxelles : De boeck et Larcier. p. 61-67.
- Ercoli, L., Lulli, L., Mariotti, M., Masoni, A., and Arduini, I. 2008.** Post-anthesis dry matter and nitrogen dynamics in durum wheat as affected by nitrogen supply and soil water availability. *Eur. J. Agron.*, n. 28, p. 138–147.
- Ercoli, L., Masoni, A., Pampana, S, Mariotti, M., and Arduini, I. 2013.** As durum wheat productivity is affected by nitrogen fertilization management in Central Italy. *Eur. J. Agron.*, n. 44, p. 38-45.
- Erenstein, O. 2002.** Crop residue mulching in tropical and semi-tropical countries: an evaluation of residue availability and other technological implications. *Soil Till. Res.*, n. 67, p. 115–133.
- Erenstein, O. 2003.** Smallholder conservation farming in the tropics and sub tropics: a guide to the development and dissemination of mulching with crop residues and cover crops. *Agric. Ecosyst. Environ.*, n. 100, p. 17–37.
- Errouissi, F., Ben Moussa-Machraoui, S., Ben-Hammouda, M., and Nourira, S. 2011.** Soil invertebrates in durum wheat (*Triticum durum* L.) cropping system under Mediterranean semi arid conditions: A comparison between conventional and no-tillage management. *Soil Till. Res.*, n. 112, p. 122-132.
- Fabrizzi, K-P., Garcia, F-O., Costa, J-L., and Picone, L-I. 2005.** Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the Southern Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.*, n. 81, p. 57–69.
- Fageria, N-K. 2012.** *The Role of Plant Roots in Crop Production.* Taylor et Francis Group: CRC Press. 467p.
- FAO. 1987.** *Réponses des rendements à l'eau.* Italie: FAO. 235 p.
- FAO. 1997.** *Production. Ann.*, Vol. 51, 239 p.
- FAO. 2002.** *Conservation Agriculture : Case Studies in Latin America and Africa.* *FAO Soils Bulletin*, n. 78, FAO, Rome.
- FAO. 2012a.** Soil organic carbon accumulation and greenhouse gas emission reductions from conservation agriculture: a literature review. *Integr. Crop Manage.* 16 p.
- FAO. 2012b.** Agriculture and consumer protection department Conservation agriculture, (Site: <http://www.fao.org/nr/cgrfa/cthemec/cgrfa-micro-organisms/en/> (accessed 02/2010)).
- FAO. 2013.** <http://www.fao.org/ag/ca/1a.html> (accessed 17 July).
- Farooq, M., Siddique, K-H-M., Rehman, H., Aziz, T., Lee, D-J., and Wahid, A. 2011.** Rice direct seeding: experiences, challenges and opportunities. *Soil Till. Res.*, n. 111, p. 87–98.

- Fasinmirin, J-T., and Reichert, J-M. 2011.** Conservation tillage for cassava (*Manihot esculenta crantz*) production in the tropics. *Soil Till. Res.*, n. 113, p. 1-10.
- Faurie, C., Ferra, CH., Medori, P., Devaux, J., et Hemptime, J-L. 2003.** *Ecologie approche scientifique et pratique*. 5<sup>ème</sup> édition. Paris : Lavoisier. 407 p.
- Fenech, J., et Papy, F. 1977.** Conditions de réussite de la levée en climat méditerranéen Cas des cultures de céréales en sec au nord du Maroc. *Ann. Agron.*, vol. 28, n. 6, p. 599-635.
- 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 Till. Res.*, n. 54, p. 31–39.
- Findeling, A., and Haverkamp, R. 2000.** Time Evolution of Surface Soil Hydraulic Properties, in 25th Congress of European Geophysical Society, Nice.
- Findeling, A., Ruy, S., and Scopel, E. 2003.** Modeling the effects of partial residue mulch on runoff using a physically based approach. *J. Hydrol.*, n. 275. p. 49-66.
- Fisher, R-A. 1981.** Optimizing the use of water and nitrogen Papy, *Plant and Soil*, n. 58, p. 249–278.
- Follett, R-F., and Peterson, G-A. 1988.** Surface soil nutrient distribution as affected by wheat fallow tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, n. 52, p. 141-147.
- Fortas, B., Mekhlouf, A., Hamsi, K., Boudiar, R., Laouar, A-M., et Djaidjaa, Z. 2013.** Impacts des techniques culturales sur le comportement physique du sol et la culture du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous les conditions semi-aride de la région de Sétif. *R. Agric.*, n. 06, p. 12-20.
- Fountas, S., Paraforos, D., Cavalaris, C., Karamoutis, C., Gemtos, T-A., Abu-Khalaf, N., and Tagarakis, A. 2013.** A five-point penetrometer with GPS for measuring soil compaction variability. *Comp. Elect. Agri.*, 2013, n. 96, p. 109-116.
- Fragoso, C., Brown, G-G., Patron, J-C., Blanchart, E., Lavelle, P., Pashanasi, B., Senapati, B. and Kumar, T. 1997.** Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: the role of earthworm. *App. Soil Eco.*, n. 6, p. 17-35.
- Franzluebbers, A-J. 2002.** Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil Till. Res.*, n. 66, p. 197–205.
- Franzluebbers, A-J., Schomberg, H-H., and Endale, D-M. 2007.** Surface-soil responses to paraplowing of long-term no-tillage cropland in the Southern Piedmont USA. *Soil Till. Res.*, n. 96, p. 303–315.
- Franzluebbers, A-J., and Stuedemann, J-A. 2008.** Soil physical responses to cattle grazing cover crops under conventional and no tillage in the Southern Piedmont USA. *Soil Till. Res.*, n. 100, p. 141–153.
- Franzluebbers, A-J., and Stuedemann, J-A. 2014.** Crop and cattle production responses to tillage and cover crop management in an integrated crop–livestock system in the southeastern USA. *Eur. Jour. Agro.*, n. 57, p. 62–70.
- Friedrich, T., Kassam, A., et Mrabet, R. 2011.** Agriculture de conservation dans le monde : Défis et évolutions. *HTE.*, Sept/Déc 2011, n. 149/150, p. 10-12.
- Frey, S-D., Elliott, E-T., and Paustian, K. 1999.** Bacterial and fungal abundance and biomass in conventional and no-tillage agroecosystems along two climatic gradients. *Soil Bio Biochem.*, n. 31, p. 573-585.
- Fuentes, J-P., Flury, M., and Bezdicek, D-F. 2004.** Hydraulic properties in a silt loam soil under natural prairie, conventional till, and no-till. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, n. 68, p. 1679-1688.
- Galantini, J-M., Landriscini, M-R., Iglesias, J-O., Miglierina, A-M., and Rosell, R-A. 2000.** The effects of crop rotation and fertilization on wheat productivity in the Pampean semi-arid region of Argentina. 2. Nutrient balance, yield and grain quality. *Soil Till. Res.*, n. 53, p. 137–144.
- Gallais, A., et Bannerot, H. 1992.** *Amélioration des espèces végétales cultivées: objectifs et critères de sélection*. Edition: INRA. 768 p.
- Galvez, L., Doude, D-D., Drinkwater, L- E., and Wagoner, P. 2001.** Effect of tillage and farming system upon VAM fungus populations and mycorrhizas and nutrient uptake of maize. *Plant and Soil*, n. 228, p. 299-308.
- Garcia, J-P., Wortmann, C-S., Mamo, M., Driber, R., and Tarkalson, D. 2007.** One-time tillage of no-till: effects on nutrients, mycorrhize, and phosphorus uptake. *Agron. J.*, n. 99, p. 1093–1103.
- Gauer, L-E., Grant, C-A., Gehl, D-T., and Bailey, L-D. 1992.** Effects of nitrogen fertilization on grain protein content, nitrogen uptake, and nitrogen use efficiency of six spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in relation to estimated moisture supply. *Can. J. Plant Sci.*, n. 72, p. 235–241.
- Gautier, H., Varlet-Grancher, C., and Hazard, L. 1999.** Tillering responses to the light environment and to defoliation in populations of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) selected for contrasting leaf length. *Ann. Bot.*, n. 83, p. 423–429.
- Ghuman, B-S., and Sur, H-S. 2001.** Tillage and residue management effects on soil properties and yields of rainfed maize and wheat in a subhumid subtropical climate. *Soil Till. Res.*, n. 58, p. 1–10.
- Gibot-Leclerc, S., Brault, M., Pinochet, X., and Sallé, G. 2003.** Biologie et pathologie végétales : Rôle potentiel des plantes adventices du colza d’hiver dans l’extension de l’orobanche rameuse en Poitou-Charentes. *C. R. Bio.*, n. 326, p. 645–658.

- Giller, K-E., Witter, E., Corbeels, M., and Tittonell, P. 2009.** Conservation agriculture and smallholder farming in Africa: the heretics' view. *Field Crops Res.*, n. 114, p. 23–34.
- Giunta, F., Motzo, R., and Deidda, M. 1993.** Effect of drought on yield and yield components of durum wheat and triticale in a Mediterranean environment. *Field Crops Res.*, n. 33, p. 399–409.
- Glenn, D., and Welker, W. 1989.** Cultural practices for enhanced growth of young peach trees. *Am. J. Altern. Agr.*, n. 4, p. 8–11.
- Gómez-Paccard, C., Hontoria, C., Mariscal-Sancho, I., Pérez, J., León, P., González, P., and Espejo, R. 2014.** Soil–water relationships in the upper soil layer in a Mediterranean Paleixerult as affected by no-tillage under excess water conditions – Influence on crop yield. *Soil Till. Res.*, n. 146, p. 303–312.
- Gordon, W-B., Rickerl, D-H., Sorensen, D-R., and Wieland, P-K. 1993.** Tillage and nitrogen effects on growth, nitrogen content, and yield of corn. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, n. 5–6, 421 p.
- Gosai, K., Arunachalam, A., and Dutta, B-K. 2009.** Influence of conservation tillage on soil physicochemical properties in a tropical rainfed agricultural system of north east India. *Soil Till. Res.*, n. 105, p. 63–71.
- Goudriaan, J., and Van Laar, H-H., 1994.** Modelling Potential Crop Growth Processes. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Govaerts, B., Fuentes, M., Mezzalama, M., Nicol, J.M., Deckers, J., Etchevers, J-D., Figueroa-Sandoval, B., and Sayre, K-D. 2007.** Infiltration, soil moisture, root rot and nematode populations after 12 years of different tillage, residue and crop rotation managements. *Soil Till. Res.*, n. 94, p. 209–219.
- Govaerts, B., Verhulst, N., Castellanos-Navarrete, A., Sayre, K-D., Dixon, J., and Dendooven, L. 2009.** Conservation agriculture and soil carbon sequestration: between myth and farmer reality. *CRC – Crit. Rev. Plant Sci.*, n. 28, p. 97–122.
- Gowing, J-W., and Palmer, M. 2008.** Sustainable agricultural development in sub-Saharan Africa: the case for a paradigm shift in land husbandry. *Soil Use Manage.*, n. 24, p. 92–99.
- Gozubuyuk, Z., Sahin, U., Ozturk, I., Celik, A., and 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*, n. 118, p. 195-205.
- Grafius, J-E. 1978.** Multiple characters and correlated response. *Crop Sci.*, n. 18, p. 931–934.
- Grant, C-A., and Lafond, G-P. 1993.** The effects of tillage and crop sequences on bulk density and penetration resistance on a clay soil in southern Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.*, n. 73, p. 223–232.
- Greb, B-W., Smika, D-E, Woodruff, N-P, and Whitfield, C-J. 1974.** In: summer fallow in the Western United States. *US Dept. Agric. Agric. Res. Serv. Conserv. Res. Rept.*, Us covt. Print. Office. Washington DC. n. 17, p. 51-85.
- Griggs, B-R., Norman, R-J., Wilson Jr., C-E., and Slaton, N-A. 2007.** Ammonia volatilization and nitrogen uptake for conventional and conservation tilled dry-seeded, delayed-flood rice. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, n. 71, p. 745–751.
- Grosclaude, J-Y., Deberre, J-Ch., Martin, M-A, et Matheron, G. 2006.** Le Semis Direct Sur Couverture Végétale Permanente (SCV) une solution alternative aux systèmes de culture conventionnels dans les pays du Sud. Editeur : AFD. 66 p.
- Gruber, S., Mohring, J., and Claupein, W. 2011.** On the way towards conservation tillage– soil moisture and mineral nitrogen in a long-term field experiment in Germany. *Soil Till. Res.*, n. 115–116, p. 80–87.
- Guérif, J. 1994.** Influence de la simplification du travail du sol sur l'état structural des horizons de surface : conséquences sur leurs propriétés physiques et leurs comportements mécaniques. In Monnier, G., Thevenet, G., Lesaffre, B. (eds.), *Simplification du travail du sol*, Vol. 65, Paris : INRA éditions, p.13-33.
- Guérif, M., and King, D. 2007.** *Agriculture de précision*. France : Quae. 292 p.
- Gupa, J-P., and Gupta, G-K. 1986.** Effect of tillage and mulching on soil environment and cowpea seedling growth under arid condition. *Soil Till. Res.*, n. 7, p. 233–240.
- Habtegebrail, K., Singh, B-R., and Haile, M. 2007.** Impact of tillage and nitrogen fertilization on yield, nitrogen efficiency of tef (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter) and soil properties. *Soil Till. Res.*, n. 94, p. 55–63.
- Hachette Multimédia. 2001.** Encyclopédie Hachette. Amazon. Support : CD-ROM Plate forme : Windows 98.
- Hakansson, I., Voorhees, W-B., and Riley, H. 1988.** Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop response in different traffic regimes. *Soil Till. Res.*, n. 11, p. 239–282.
- Hallaire, V. 1988.** La fissuration d'un sol argileux au cours du dessèchement. I. Description in situ. *Agron.*, n. 8, p. 139-145.
- Halde, C., Gulden, R-H., Hammermeister, A-M., Ominski, K-H., Tenuta, M., and Entz, M-H. 2013.** Nitrogen dynamics in an organic rotational no-till system in southern Manitoba. Oral Presentation and Proceedings of the CSSS-MSSS-CSAFM Joint Annual Meeting, Winnipeg, MB, Canada, July. , p. 22–25.
- Halvorson, A-D., Wienhold, B-J., and Black, A- L. 2001.** Tillage and nitrogen fertilization influence grain and soil nitrogen in an annual cropping system. *Agron. J.*, n. 93, p. 836-841.
- 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.*, n. 53, p. 1515-1519.

- Hannachi, A., et Fellahi, Z. 2010.** Effet des résidus et du travail du sol sur le comportement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en milieu semi-aride. Mémoire d'ingénieur : Université Ferhat Abbas Sétif. 65 p.
- Hao, X., Chang, C., Conner, R-L., and Bergen, P. 2001.** Effect of minimum tillage and crop sequence on crop yield and quality under irrigation in a southern Alberta clayloam soil. *Soil Till. Res.*, n. 59, p. 45–55.
- Harrad, H., Ghalem, Y., Ledra, M., et Sadj, J. 2010.** La mécanisation des grandes cultures: réalisations, contraintes et perspectives. *Céréas.*, vol.1, n. 55. 2<sup>ème</sup> semestre. p. 61-75.
- Hatfield, J-L., and Karlen, D-L. 1994.** *Sustainable Agriculture Systems*. London: Lewis Publishers.
- Haynes, R-J., and Beare, M-H. 1997.** Influence of six crop species on aggregate stability and some labile organic matter fractions. *Soil Bio. Biochem.*, n. 29, p. 1647–1653.
- Haynes, R-J., and Naidu, R. 1998.** Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nut. Cyc. Agroeco.*, n. 51, p. 123-137.
- He, J., Li, H., Rabi, G-R., Wang, Q., Cai, G., Su, Y., Qiao, X., and Liu, L. 2011.** Soil properties and crop yields after 11 years of no tillage farming in wheat–maize cropping system in North China Plain. *Soil Till. Res.*, n. 113, p. 48-54.
- Heard, J-R., Kladivko, E-J., and Mannering, J- V. 1988.** Soil macroporosity, hydraulic conductivity and air permeability of silty soils under long-term conservation tillage in Indiana. *Soil Till. Res.*, n. 11, p. 1-18.
- Hemmat, A., and Eskandari, I. 2006.** Dryland winter wheat response to conservation tillage in a continuous cropping system in northwestern Iran. *Soil Till. Res.*, n. 86, p. 99–109.
- Hernanz, J-L., Peixoto, H., Cerisola, C., and Sánchez-Girón, V. 2000.** An empirical model to predict soil bulk density profiles in field conditions using penetration resistance, moisture content and soil depth. *J. Terramech.*, n. 37, p. 167-184.
- Hernández, J. L., Lopez, R., Navarrete, L., and Sánchez-Girón, V. 2002.** Long-term effects of tillage systems and rotations on soil structural stability and organic carbon stratification in semi arid central Spain. *Soil Till. Res.*, n. 66, p. 129–141.
- Hervieu, B., Capone, R. et Abis, S. 2006.** Mutations et défis pour l'agriculture au Maghreb. Notes d'analyse du CIHEAM, Vol. 200, n.16, p.1-21.
- Hill, R- L. 1990.** Long-term conventional and no-tillage effects on selected soil physical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, n. 54, p. 161-166.
- Hillel, D. 1998.** *Environmental Soil Physics*. San Diego : Academic Press, CA. 771 p.
- Hino, M., Odaka, Y., Nadaoka, K., and Sato, A. 1988.** Effect of initial soil moisture content on the vertical infiltration process – a guide to the problem of runoff- ratio and loss. In : Bras, R-L., Hino, M., Kitanidis, P-K., et Takeuchi, K (Editors). Hydrologic Research: The U.S.-Japan Experience. *J. hydro.*, n. 102, p. 267-284.
- Hinsinger, P. 2001.** Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. *Plant Soil*, n.237, p. 173-195.
- Hobbs, P-R. 2007.** Conservation agriculture: what is it and why is it important for future sustainable food production? *J. Agric. Sci.*, n. 145, p. 127–137.
- Hobbs, P-R., Sayre, K., and Gupta, R. 2008.** The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. *Philos. Trans. R. Soc. B.*, n. 363, p. 543–555.
- Hochman, Z-V-I, 1982.** Effect of water stress with phasic development on yield of wheat grown in a semi-arid environment. *Field Crops Res.*, n. 5, p. 55–67.
- Holland, J. 2004.** The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agric. Ecosyst. Environ.*, n. 103, p. 1–25.
- Horne, D-J., Ross, C-W., and Hughes, K-A. 1992.** 10 years of a maize oats rotation under three tillage systems on a silt loam in New Zealand. 1. A comparison of some soil properties. *Soil Till. Res.*, Vol. 22, n. 1–2, p. 131–143.
- House, G-J., and Parmelee, R-W. 1985.** Comparison of soil arthropods and earthworms from conventional and no-tillage agroecosystems. *Soil Till. Res.*, n. 5, p. 351–360.
- Houx III, J-H., Wiebold, W-J., and Fritschi, F-B. 2014.** Rotation and tillage affect soybean grain composition, yield, and nutrient removal. *F. Cr. Res.*, n. 164, p. 12-21.
- Huang, M., Zou, Y., Feng, Y., Cheng, Z., Mo, Y., Ibrahim, Md., Xia, B., and Jiang, P. 2011.** No-tillage and direct seeding for super hybrid rice production in rice–oilseed rape cropping system. *Eur. Jour. Agron.*, n. 34, p. 278–286.
- Huang, M., Zou, Y., Jiang, P., Xia, B., Feng, Y., Cheng, Z., and Mo, Y. 2012.** Effect of tillage on soil and crop properties of wet-seeded flooded rice. *Field Crop. Res.*, n. 129, p. 28–38.
- Hubbard, R-K., Strickland, T-C., and Phatak, S. 2013.** Effects of cover crop systems on soil physical properties and carbon/nitrogen relationships in the coastal plain of southeastern USA. *Soil Till. Res.*, n. 126, p. 276–283.
- Hullugale, N-R., and Lal, R. 1986.** Root growth of maize in a compacted gravelly tropical alfisols as affected by rotation with a woody perennial. *Field Crop Res.*, n. 13, p. 33-44.

- Hussain, J., and Aspinall, D. 1970.** Water stress and apical morphogenesis in barley. *Ann. Bot.*, n. 34, p. 393–407.
- Hussain, I., Olson, K-R. and Siemens, J-C. 1998.** Long-term tillage effects on physical properties of eroded soil. *Soil Sci.*, n. 163, p. 970-981.
- Husson, J. 1997.** La suppression du labour: Conséquences sur les exploitations céréalières de l'Oise. Mémoire de fin d'étude: ISAB. 95 p plus annexes.
- Hütsch, B-W., Augustin, J., and Merbach, W. 2002.** Plant rhizodeposition - an important source for carbon turnover in soils. *J. Plant Nut. Soil Sci.*, n. 165, p. 397-407.
- Hyvonen, T., and Salonen, J. 2002.** Weed species diversity and community composition in cropping practices at two intensity levels-a six-year experiment. *Plant Eco.*, n. 154, p. 73-81.
- Jakobsen, B-F., and Dexter, A-R. 1988.** Influence of biopores on root growth, water uptake and grain yield of wheat (*Triticum aestivum*) based on predictions from a computer model. *Bio. Fert. Soils*, n. 6, p. 315-321.
- Jemai, I., Ben Aissa, N., Ben Guirat, S., Ben-Hammouda, M., and Gallali, T. 2013.** Impact of three and seven years of no-tillage on the soil water storage, in the plant root zone, under a dry subhumid Tunisian climate. *Soil Till. Res.*, n. 126, p. 26-33.
- Jones, J-N., Moody, J-E., and Lillard, J-H. 1969.** Effects of tillage, no tillage, and mulch on soil water and plant growth. *Agron. J.*, n. 61, p. 719-721.
- Jordan, D., Stecker, J-A., CacioHubbard, V-N., Li, F., Gantzer, C-J., and Brown, J-R. 1997.** Earthworm activity in no-tillage and conventional tillage systems in Missouri soils : a preliminary study. *Soil Bio. Biochem.*, n. 29, p. 489-491.
- Kabakci, H., Chevalier, P-M., and Papendick, R-I. 1993.** Impact of tillage and residue management on dryland spring wheat development. *Soil Till. Res.*, n. 26, p. 127–137.
- Kahlon, M-S., Lal, R., and Ann-Varughese, M. 2013.** Twenty two years of tillage and mulching impacts on soil physical characteristics and carbon sequestration in Central Ohio. *Soil Till. Res.*, n. 126, p. 151–158.
- Karlen, D-L., Wollenhaupt, N-C., Erbach, D-C., Berry, E-C., Swan, J-B., Eash, N-S., and Jordahl, J-L. 1994.** Long-term tillage effects on soil quality. *Soil Till. Res.*, n. 32, p. 313–327.
- Karunatilake, U., Van Es, H-M., and Schindelbeck, R-R. 2000.** Soil and maize response to plow and no-tillage after alfalfa-to-maize conversion on a clay loam soil in New York. *Soil Till. Res.*, n. 55, p. 31-42.
- Kaspar, T-C., Erbach, D-C., and Cruse, R-M., 1990.** Corn response to seed-row residue removal. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, n. 54, p. 1112–1117.
- Kassam, A-H., 1981.** Climate, soil and land resources in North Africa and West Asia. *Plant and soil*, Vol. 58, n. 1, p. 1-29.
- Kassam, A., Friedrich, T., Shaxson, F., and Pretty, J. 2009.** The spread of conservation agriculture: justification, sustainability and uptake. *Int. J. Agric. Sustain.*, n. 7, p. 292–320.
- Kassam, A., Friedrich, T, Derpsch, R, Lahmar, R, Mrabet, R., Basch, G., González-Sánchez, E-J., and Serraj, R. 2012.** Conservation agriculture in the dry Mediterranean climate. *Field Crops Res.*, n. 132, p. 7-17.
- Kato, Y., Kamoshita, A., Abe, J., and Yamagishi, J. 2007.** Improvement of rice (*Oryza sativa* L.) growth in upland conditions with deep tillage and mulch. *Soil Till. Res.*, n. 92, p. 30–44.
- Kay, B-D. 1990.** Rates of change of soil structure under different cropping systems. In Steward, B- A. (ed.), *Advances in soil science*, Vol. 12. New-York : Springer-Verlag, (USA). p. 1-52.
- Kebede, B. and Belay, G. 2001.** *Triticum durum*. In Brink, M., Belay, G (Editeurs). 2006. *Plant ressources of tropical Africa 1 : Cereals and pulses*. Backhu Publishers: Wageninge, Pays- Bas. 209 p.
- Kelkoul, M. 2008.** Etude de l'effet de différentes techniques culturales utilisés en grandes cultures sur la rétention du sol en eau dans les conditions du semi-aride, région du Haut Cheliff, cas du blé. Mémoire de Magister : INA; El-Harrach (Alger). 146 p.
- Keller, T., and Håkansson, I. 2010.** Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. *Geode.*, n. 154, p. 398–406.
- Kellou, R. 2008.** Analyse du marché algérien du blé dur et les opportunités d'exportation pour les céréaliers français dans le cadre du pôle de compétitivité Quali-Méditerranée. Le cas des coopératives Sud Céréales, Groupe coopératif Occitan et Audecoop. Master of Science n° 93: IAMM, Montpellier. 160 p.
- Khaldoun, A., Chery, J., et Monneveux, P. 1990** Etudes des caractères d'enracinement et de leur role dans l'adaptation au deficit hydrique chez l'orge. *Agron.*, n. 10, p. 369 - 379.
- Kheyar, M-O., Amara, M., et Harrad, F. 2007.** La mécanisation de la céréaliculture algérienne: Constat et Perspectives. *Ann. I. N. A. El-Harrach*, Vol. 28, n. 1-2, p. 95-112.
- Kinsella, J. 1995.** The effects of various tillage systems on soil compaction. In Soil, Water Conservation Society, Farming for a Better Environment. *Ankeny, USA*, p. 15–17.
- Kirkegaard, J-A. 1995.** A review of trends in wheat yield responses to conservation cropping in Australia. *Aust. J. Exp. Agric.*, n. 35, p. 835–848.
- Kladivko, E-J. 2001.** Tillage systems and soil ecology. *Soil Till. Res.*, n. 61, p. 61–76.

- Kladivko, E-J., Akhouri, N-M., and Weesies, G. 1997.** Earthworm populations and species distributions under no-till and conventional tillage in Indiana and Illinois. *Soil Biol. Biochem.*, n. 29, p. 613–615.
- Koch, H-J., and Stockfisch, N. 2006.** Loss of soil organic matter upon ploughing under a loess soil after several years of conservation tillage. *Soil Till. Res.*, n. 86, p. 73–83.
- Köller, K. 2003.** Techniques of Soil Tillage. In El Titi, A (ed). 2003. *Soil Tillage in Agroecosystems*. Editeur: CRC Press. p. 1-25
- Kourgouli, S., et Aït Ouali, A. 2010.** Etude de l'effet des trois systèmes de culture et du précédent cultural sur le comportement du sol et de la culture de blé tendre (*Triticum aestivum*, L). Mémoire d'ingénieur : Université Ferhat Abbas Sétif. 79p.
- Kravchenko, A-G., and Thelon, K-D. 2007.** Effect of winter wheat crop residue on no-till corn and development. *Agron. J.*, n. 99, p. 549-555.
- Kribaa, M. 1992.** Contribution à l'étude de l'irrigation d'appoint et de la fertilisation azotée d'un blé dur (Waha) en zones semi-arides cas des hautes plaines sétifiennes. Mémoire d'ingénieur : INA El Harrach Alger. 103 p.
- Kribaa, M., Hallaire, V., Curmi, P., and Lahmar, R. 2001.** Effect of various cultivation methods on the structure and hydraulic properties of a soil in a semi-arid climate. *Soil Till. Res.*, 12 Février 2001, n. 60, p. 43-53.
- Kumar, V., and Ladha, J-K. 2011.** Direct seeding of rice: Recent développement and future research needs. *Adv. Agron.*, Vol. 111, p. 229-391.
- Kundu, D-K., Ladha, J-K. 1999.** Sustaining productivity of lowland rice soils: issues and options related to N availability. *Nutr. Cycl. Agroecosys.*, n. 53, p.19–33.
- Kuotsu, K., Das, A., Lal, R., Munda, G-C., Ghosh, P-K., and Ngachan, S-V. 2014.** Land forming and tillage effects on soil properties and productivity of rainfed groundnut (*Arachis hypogaea* L.)–rapeseed (*Brassica campestris* L.) cropping system in north eastern India. *Soil Till. Res.*, n. 142, p. 15-42.
- Kushwaha, R-L., Vaishnav, A-S., and Zoerb, G-C. 1986.** Soil bin evaluation of disc coulters under no-till crop residue conditions. *Trans. ASAE.*, n. 29, p. 40–44.
- Lacharme, M. 2001.** Le plant de riz : Données morphologiques et cycle de la plante. Fascicule 2, Coopération Française, *Mém. Tech. Riziculture*, Juin 2001,19p.
- Lahmar, R. 1993.** Intensification céréalière dans les hautes plaines sétifiennes: quelques résultats. *Cahiers Options Méditerranéennes*, Vol. 2, n. 1, p. 93- 97.
- Lahmar, R. 2008.** Adoption of conservation agriculture in Europe; Lessons of the KASSA Project. *Land Use Pol.*, Vol.27, n.1, p. 4-10.
- Lahmar, R., and Ruellan, A. 2007.** Dégradation des sols et stratégies coopératives en Méditerranée La pression sur les ressources naturelles et les stratégies de développement durable. *Cahiers Agric.*, n. 16, p. 318–323.
- Lahmar, R., et Bouzerzour, H. 2011.** Du mulch terreux au mulch organique. Revisiter le dry- farming pour assurer une transition vers l'agriculture durable dans les Hautes Plaines Sétifiennes. *Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens*, n. 96, p. 99-106.
- Lakaab, R. 2012.** Effet de la fertilisation azotée sur la culture du blé dur (*Triticum durum* Desf.) variété (Boussellem) et sur la décomposition de la matière organique en semis direct dans la région semi-aride de Sétif. Mémoire de magister : Université Ferhat Abbas Sétif. 100 p.
- Lal, R. 1986.** Effects of 6 years of continuous no-till or puddling systems on soil properties and rice (*Oryza sativa*) yield of a loamy soil. *Soil Till. Res.*, n. 8, p. 181–200.
- Lal, R. 1998.** Land use and soil management effects on soil organic matter dynamics on alfisols in western Nigeria. In Lal, R., Kimble, J-M., Follet, R-F., Stewart, B-A. (Eds.), *Soil Processes and the Carbon Cycle. Advances in Soil Science*. CRC Press, Boca Raton, FL. p. 109–126.
- Lal, R. 2004.** Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Sci.*, Vol.5677, n. 304, p. 1623–1627.
- Lampurlane's, 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. *Agron. J.*, 2003, n. 95, p. 526–536.
- Lampurlane's, J., and Cantero-Martínez, C. 2006.** Hydraulic conductivity, residue cover and soil surface roughness under different tillage systems in semiarid conditions. *Soil Till. Res.*, n. 85, p. 13–26.
- Lavelle, P. 1987.** Biological processes and productivity of soils in the humid tropics. In Lovelock, J., and Dickinson, R-E. (Eds.). *Geophy. Amazo.*, p. 175-214.
- Lavelle, P. 1997.** Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem function. In Begon, M., and Fitter, A-H. (Eds.), *Advances in Ecological Research*, Vol. 27. London : Academic Press Limited, (UK), p. 93-132.
- Lawlor, D-W., Day, w., Johnson, A-E., Legg, B-J. and Parkinson, K-J. 1981.** Growth of spring barley under drought: crop development, photosynthesis, dry matter accumulation and nutrient content. *J. Agric. Sci. Camb.*, n. 96, p.167-186.

- Le Bissonnais, Y. 1988.** *Analyse des mécanismes de désagrégation et de la mobilisation des particules de terre sous l'action des pluies*, Thèse de Doctorat : Université d'Orléans, Orléans (France)
- Leather, G-R. 1983.** Weed control using allelopathic crop plants. *J. Chem. Eco.*, n. 9, p. 983–989.
- Lee, K-E., and Foster, R-C. 1991.** Soil fauna and soil structure. *Aus. J. Soil Res.*, n. 29, p. 745-775.
- Leye, M-T. 2007.** *Conservation Tillage Systems and Water Productivity - Implications for smallholder farmers in semi-arid Ethiopia*. Édition: Taylor et Francis/Balkema. 25 p.
- Li, H-X., Lu, W-S., Liu, J-Y, Zhang, X-M., Cheng, X-C., Li, Y-F., et Hou, J-T. 2001.** Effect of different tillage methods on rice growth and soil ecology, *Chin. J. Appl. Ecol.*, n. 12, p. 553–556 (in Chinese with English abstract).
- Li, S-J., Chen, J-K., Chen, F., Li, L., and Zhang, H-L. 2008.** Characteristics of Growth and Development of Winter Wheat under Zero Tillage in North China Plain. *ACTA Agron. Sin.*, February 2008, Vol. 34, n. 2, p. 290–296.
- Li, J., Yang, J., Fei, P., Song, J., Li, D., Ge, C., and Chen, W. 2009.** Responses of rice leaf thickness, SPAD readings and chlorophyll a/b ratios to different nitrogen supply rates in paddy field. *Field Crops Res.*, n. 114, p. 426-432.
- Li, D., Liu, M., Cheng, Y., Wang, D., Qin, J., Jiao, J., Li, H., and Hu, F. 2011.** Methane emissions from double-rice cropping system under conventional and no tillage in southeast China. *Soil Till. Res.*, n. 13, p. 77-81.
- Licht, M-A., and Al-Kaisi, M. 2005.** Strip-tillage effect on seedbed soil temperature and other soil physical properties. *Soil Till. Res.*, n.80, p. 233–249.
- Liebig, M-A., Tanaka, D-L., and Wienhold, B-J. 2004.** Tillage and cropping effects on soil quality indicators in the northern Great Plains. *Soil Till. Res.*, n. 78, p. 131–141.
- Liewellyn, R. 2007.** Information quality and effectiveness for more rapid adoption decisions by farmers. *Field Crops Res.*, n. 104, p. 148–156.
- Lin, C-G. 1990.** The Holes, Structures and Cultivable Peculiarly of Field Soil. *China Agric. Press, Beijing*. p. 56-65.
- 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 Sci. Soc. Am. J.*, n. 63, p. 948-954.
- Lin, J., Sun, Y., and Schulze Lammers, P. 2014.** Evaluating model-based relationship of cone index, soil water content and bulk density using dual-sensor penetrometer data. *Soil Till. Res.*, n. 138, p. 9–16.
- Lindwall, C-W., and Anderson, D-T. 1981.** Agronomic evaluation of minimum tillage systems for summer fallow in southern Alberta. *Can. J. Soil Sci.*, n. 61, p. 247-253.
- Lipiec, J., Arvidsson, J., and Murer, E. 2003.** Review of modeling crop growth: movement of water and chemicals in relation to topsoil and subsoil compaction. *Soil Till. Res.*, n. 73, p. 15–29.
- Lipiec, J., Kuś, J., Słowińska-Jurkiewicz, A., and Nosalewicz, A. 2006.** Soil porosity and water infiltration as influenced by tillage methods. *Soil Till. Res.*, n. 89, p.210–220.
- Lithourgidis S., Dhima, K-V., Damalas, C-A, Vasilakoglou, I-B., and Eleftherohorinos, I-G. 2006.** Tillage Effects on Wheat Emergence and Yield at Varying Seeding Rates, and on Labor and Fuel Consumption. *Crop Sci.*, n. 46, p. 1187–1192.
- Liu, K., and Wiatrak, P. 2012.** Corn production response to tillage and nitrogen application in dry-land environment. *Soil Till. Res.*, n. 124, p. 138–143.
- Liu, X. J., Mosier, A-R., Halvorson, A-D., and Zhang, F-S. 2006.** The impact of nitrogen placement and tillage on NO, N2O, CH4 and CO2 fluxes from a clay loam soil. *Plant and Soil*, n. 280, p. 177-188.
- Liu, S-P., Nie, X-T., Dai, Q-G., Huo, Z-Y., and Xu, K. 2007.** Effect of Interplanting with Zero Tillage and Straw Manure on Rice Growth and Rice Quality. *Rice Science*, Vol.14, n.3, p. 204-211.
- Logsdon, S-D., McCoy, E-L., Allmaras, R-R., and Linden, D-R. 1993.** Macropore characterization by indirect methods. *Soil Sci.*, n. 155, p. 316-324.
- López M., J-L. Arrúe, V., and Sánchez-Girón. 1996.** A comparison between seasonal changes in soil water storage and penetration resistance under conventional and conservation tillage systems in Aragon. *Soil Till. Res.*, n. 37, p. 251-271.
- Lopez-Bellido, L., Lopez-Garrido, F-J-b, Fuentes, M., Clastillo, J-E., and Fernhdez, E-J. 1997.** Influence of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on soil organic matter and nitrogen under rainfed Mediterranean conditions. *Soil Till. Res.*, n. 43, p. 277-293.
- López-Bellido, L., López-Bellido, R-J., Redondo, R. 2005.** Nitrogen efficiency in wheat under rainfed Mediterranean conditions as affected by split nitrogen application. *Field Crops Res.*, n. 94, p. 86–97.
- Lopez-Garrido, R., Madejon, E. Leon-Camacho, M. Giron, I., Moreno, F. and Murillo, J-M. 2014.** Reduced tillage as an alternative to no-tillage under Mediterranean conditions: A case study. *Soil & Tillage Res.*, n. 140, p. 40-47.
- Lorenz, K., Lal, R., and Donald, L-S. 2005.** The depth distribution of soil organic carbon in relation to land use and management and the potential of carbon sequestration in subsoil horizons. *Adv. Agron.*, n. 88, p. 35–66.

- Loss, S-P., and Siddique, K-H-M. 1994.** Morphological and physiological traits associated with wheat yield increases in Mediterranean environment. *Adv. Agron.*, n. 52, p. 229–276.
- Loue, A. 1982.** Le potassium et les céréales. Dossier K<sub>2</sub>O, *SCPA*, n. 22, p.1-40.
- Luxmoore, R-J. 1981.** Micro-, meso-, and macroporosity of soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, n. 45, p. 671-672.
- Ma, B-L., Subedi, K-D., and Zhang, T-Q. 2007.** Pre-sidedress nitrate test and other crop based indicators for fresh market and processing sweet corn. *Agron. J.*, n. 99, p. 174–183.
- Machet, J-M., and Recous, S. 1995.** La gestion de l'interculture : une nécessité pour limiter le lessivage des nitrates : *Persp.Agric.*, n. 206, p. 4-8.
- Mahdadi, M., et Bouzidi, A. 2013.** Etude du comportement de six variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides de Sétif. Mémoire d'ingénieur : Université Ferhat Abbas Sétif. 57 p.
- Makhlouf, A., Bouzerzour, H., Dehbi, F., et Hannachi, A. 2001.** Rythme de développement et variabilité de réponses du blé dur (*Triticum durum* Desf.) aux basses températures. Tentatives de sélection pour la tolérance au gel. In Proceedings Séminaire sur la valorisation des milieux semi-arides. OEB.
- Makhlouf, A., Makhlouf, M., Achiri, A., Ait ouali, A., et Kourgouli, S. 2011.** Etude comparative de l'effet des systèmes de travail du sol et des précédents culturaux sur le sol et le comportement du blé tendre (*Triticum aestivum*.L) en conditions semi-arides. *Agric.*, n. 2, p. 52-65.
- Malhi, S-S., and Lemke, R. 2007.** Tillage, crop residue and N fertilizer effects on crop yield, nutrient uptake, soil quality and nitrous oxide gas emissions in a second 4-yr rotation cycle. *Soil Till. Res.*, n. 96, p. 269–283.
- Malhi, S-S., Lemke, R., Wang, Z-H., and Chhabra, B-S. 2006.** Tillage, nitrogen and crop residue effects on crop yield, nutrient uptake, soil quality, and greenhouse gas emissions. *Soil Till. Res.*, n. 90, p. 171-183.
- Malhi, S-S., and O'sullivan, P-A. 1990.** Soil temperature, moisture and penetrometer resistance under zero and conventional tillage in Central Alberta\*. *Soil Till. Res.*, n. 17, p. 167-172.
- Mapfumo, E., and Chanasyk, D-S. 1998.** Guidelines for safe trafficking and cultivation, and resistance-density-moisture relations of three disturbed soils from Alberta. *Soil Till. Res.*, n. 46, p. 193-202.
- Martens, D-A., Frankenberger, W-T. 1992.** Modification of infiltration rates in a organic amended irrigated soil. *Agron. J.*, n. 84, p. 707–717.
- Messicote, D., Denis, J., and Lamarre, G. 2000.** Le semis direct. Le guide des Pratiques de conservation en grande culture. Centre de référence agronomique et agroalimentaire au Québec (CRAAQ). 17 p.
- Matin, M-A., Brown, J-H., and Ferguson, H. 1989.** Leaf water potential, relative water content and diffusivity resistance as screening techniques for drought resistance in barley. *Agron. J.*, n. 8, p. 100-105.
- Matula, S. 2003.** The influence of tillage treatments on water infiltration. *Plant, Soil and Env.*, n. 49, p. 298-306.
- Mazvimavi, K., and Twomlow, S. 2009.** Socioeconomic and institutional factors influencing adoption of conservation farming by vulnerable households in Zimbabwe. *Agric. Sys.*, n. 101, p. 20–29.
- McBride, R-A., Martin, H. et Kennedy, B. 1989.** La compaction du sol. Fiche technique, Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, Ontario, Canada.
- McCarthy, J-R., Pfof, D-L., and Currence, H-D. 1999.** Conservation tillage and residue management to reduce soil erosion. Agricultural Publication G1650, University Extension, University of Missouri, Columbia.
- McCarty, G-W., Lyssenko, N-N., and Starr, J-L. 1998.** Short-term changes in soil carbon and nitrogen pools during tillage management transition. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, n. 62, p. 1564-1571.
- McConkey, B-G., Curtin, D., Campbell, C-A., Brandt, S-A., and Selles, F. 2002.** Crop and soil nitrogen status of tilled and no-tillage systems in semiarid regions of Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.*, n. 82, p. 489-498.
- McGarry, D., Bridge, B-J., and Radford, B-J. 2000.** Contrasting soil physical properties after zero and traditional tillage of an alluvial soil in the semi-arid subtropics. *Soil Till. Res.*, n. 53, p. 105-115.
- McGonigle, T-P., Miller, M-H. and Young, D. 1999.** Mycorrhizae, crop growth, and crop phosphorus nutrition in maize-soybean rotations given various tillage treatments. *Plant and Soil*, n. 210, p. 33-42.
- McKenzie, B-M., and Dexter, A-R. 1988a.** Axial pressures generated by the earthworm *Aporrectodea rosea*. *Bio. Fert. Soils*, n. 5, p. 323-327.
- McKenzie, B-M., and Dexter, A-R. 1988b.** Radial pressures generated by the earthworm *Aporrectodea rosea*. *Bio. Fert. Soils*, n. 5, p. 328-332.
- McVay, K-A., Budde, J-A., Fabrizzi, K., Mikha, M-M., Rice, C-W., Schlegel, A-J., Peterson, D-E., Sweeney, D-W., and Thompson, C. 2006.** Management effects on soil physical properties in long-term tillage studies in Kansas. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, n. 70, p. 434–438.
- Melaj, M-A., Echeverría, H-E., López, S-C., Studdert, G., Andrade, F., and Bárbaro, N-O. 2003.** Timing of nitrogen fertilization in wheat under conventional and no-tillage system. *Agron. J.*, n. 95, p. 1525–1531.
- Melesse, T. 2007.** Conservation Tillage Systems and Water Productivity Implications for Smallholder Farmers in Semi-arid Ethiopia. (Ph.D. thesis) Delft University of Technology, the Netherlands. 132 p.
- 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. *Can. J. Soil Sci.*, n. 78, p. 643-648.

- Ministère d'Agriculture et de Développement Rural (MADR). 2012.** Statistique agricoles, superficies et production. Série B.
- Mirsky, S-B., Ryan, M-R., Curran, W-S., Teasdale, J-R., Maul, J., Spargo, J-T., Moyer, J., Grantham, A-M., Weber, D., Way, T-R., and Camargo, G-G. 2012.** Conservation tillage issues: cover crop-based organic rotational no-till grain production in the mid-Atlantic region, USA. *Renew. Agric. Food Syst.*, n. 27, p. 31–40.
- Mishra, U., Ussiri, D-A-N., and Lal, R. 2010.** Tillage effects on soil organic carbon storage and dynamics in Corn Belt of Ohio USA. *Soil Till. Res.*, n. 107, p. 88–96.
- Mkhabela, M.S., and Mashinini, N-N. 2005.** Early maize yield forecasting in the four agro-ecological regions of Swaziland using NDVI data from NOAA's- AVHRR. *Agric. For. Meteorol.*, n. 129, p. 1–9.
- Mogensen, V-O. 1991.** Growth rate of grains of barley in relation to drought. *Acta. Agric. Scand.*, n. 41, p. 345 - 353.
- Mogensen, V-O., and Jensen, H-E. 1989.** The concept of stress days in modeling crop yield response to water stress. Proceeding of the CE.C Workshop: Management of water resources in cash crops and in alternative production systems. Brussels 1988, p. 13 - 22.
- Mohanty, M., Painuli, D-K. Misra, A-K. Bandyopadhyaya, K-K., and Ghosh, P-K. 2006.** Estimating impact of puddling, tillage and residue management on wheat (*Triticum aestivum*, L.) seedling emergence and growth in a rice-wheat system using nonlinear regression models. *Soil Till. Res.*, n. 87, p. 119–130.
- Moitra, R., Ghosh, D., and Sarkar, S. 1996.** Water use pattern and productivity of rainfed yellow sarson (*Brassica rapa* L. var. *glauca*) in relation to tillage and mulching. *Soil Till. Res.*, n. 38, p. 153–160.
- Monnier, G. 1994.** Introduction à la simplification du travail du sol. In Monnier, G., et al. ( eds). *Simplification du travail du sol*. 1991. Paris : INRA (Les Colloques n° 65). , p. 5-9.
- Mora, J-L., and Lázaro, R. 2014.** Seasonal changes in bulk density under semiarid patchy vegetation: the soil beats. *Geo.*, n.235-236, p. 30–38.
- Morell, F-J., Lampurlane, J., Alvaro-Fuentes, J-A., and Cantero-Martínez, C. 2011.** Yield and water use efficiency of barley in a semiarid Mediterranean agroecosystem: Long-term effects of tillage and N fertilization. *Soil Till. Res.*, n. 117, p. 76–84.
- Moret, D., and Arru'e, J-L. 2007.** Dynamics of soil hydraulic properties during fallow as affected by tillage. *Soil Till. Res.*, n. 96, p. 103-113.
- Moroke, T-S., Schwartz, R-C., Brown, K-W., and Juo, A-S-R. 2011.** Water use efficiency of dryland cowpea, sorghum and sunflower under reduced tillage. *Soil Till. Res.*, n. 112, p. 76–84.
- Mosaddeghi, M-R., Hajabbasi, M-A., Hemmat, A., and Afyuni, M. 2000.** Soil compactibility as affected by soil moisture content and farmyard manure in central Iran. *Soil Till. Res.*, n. 55, p. 87–97.
- Mosseddaq, F., and Moughli, L. 1999.** Fertilisation azotée des céréales, cas des blés en irrigué. *Transfert de tech. en Agri.*, n. 62, 4p.
- Mouazen, A., and Ramon, H. 2002.** A numerical- statistical hybrid modeling scheme for evaluation of draught requirements of a subsoiler cutting a sandy loam soil, as affected by moisture content, bulk density and depth. *Soil Till. Res.*, n. 63, p. 155–165.
- Mrabet, R. 2000.** Differential response of wheat to tillage management systems in a semi-arid area of Morocco. *Field Crop Res.*, n. 66, p. 165-174.
- Mrabet, R. 2001a.** Le semis direct : Potentiel et limites pour une agriculture durable en Afrique du nord. *CEA/TNG/CDSR/AGR.*, Décembre 2001, 32 p.
- Mrabet, R. 2001b.** Le semis direct : une technologie avancée pour une agriculture durable au Maroc. *MADREF – DERD*, n. 76, 4p. (Site: <http://agriculture.ovh.org>.)
- Mrabet, R. 2011.** Effects of residue management and cropping systems on wheat yield stability in a semiarid Mediterranean clay soil. *Am. J. Plant Sci.*, n. 2, p. 202–216.
- Mrabet, R., A. Bouzza, and G.A. Peterson. 1993.** Potential reduction of soil erosion in Morocco using no-till systems. *Agronomy Abstract, American Soc. Agronomy, Madison, WI, USA.* 323 p.
- Mrabet, R., Saber, N., El-Brahli, A., Lahlou, S., and Bessam, F. 2001.** Total, particulate organic matter, and structural stability of a Calcixeroll soil under different wheat rotations and tillage systems in a semiarid area of Morocco. *Soil Till. Res.*, n. 57, p. 225–235.
- Mrabet, R., Moussadek, R., Fadlaoui, A., and Ranst, E. 2012.** Conservation agriculture in dry areas of Morocco. *Field Crop Res.*, n. 132, p. 84-94.
- Mulugeta, L. 2004.** Effect of Land Use Changes on Soil Quality and Native Flora Degradation and Restoration in the Highlands of Ethiopia: Implications for Sustainable Land Management. (Ph.D. thesis)Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, p. 31–39.
- Munier, D., Kearney, T., Pettygrove, G-S., Brittan, K, Mathews, M., and Jackson, L. 2006.** Fertilization off small grain. *Small grain production manual PART4*. University of California division of agriculture and natural resources. France: UCANR Publications Amazon. p. 11.
- Munawar, A., Blevins, R- L., Frye, W-W., and Saul, M-R. 1990.** Tillage and cover crop management for soil water conservation. *Agron.J.*, n. 82, p. 773-777.

- Murphy, S-D., Clements, D-R., Belaoussoff, S., Kevan, P-G. and Swanton, C-J. 2006.** Promotion of weed species diversity and reduction of weed seedbanks with conservation tillage and crop rotation. *Weed Sci.*, n. 54, p. 69-77.
- Mutters, R-G., Greer, C-A., Klonsky, K-M., and Livingston, P. 2007.** Sample Costs to Produce Rice. University of California Cooperative Extension, Division of Agriculture and Natural resources and Department of Agriculture and Resource Economics, Davis, CA, Available at: <http://coststudies.ucdavis.edu/files/ricesv07.pdf> (accessed 03.02.11; verified 06.12.11).
- Mworia, J-K., Mnene, W-M., Musimbi, D-K., and Reid, R-S. 1977.** Resilience of soil and vegetation subjected to different grazing intensities in a semi-arid rangeland of Kenya. *African Journal of Range and Forage Science*, n. 14, p. 26-31.
- Nedjimi, B. 2009.** Salt tolerance strategies of *Lygeum spartum* L: A new fodder crop for Algerian saline steppes. *Flora*, n. 204, p. 747-754.
- Ngwira, A-R., Aune, J-B, and Thierfelder, C. 2014.** DSSAT modelling of conservation agriculture maize response to climate change in Malawi. *Soil Till. Res.*, n. 143, p. 85-94.
- Nouri-Ganbalani, A., Nouri-Ganbalani, G., and Hassanpanah, D. 2009.** Effects of drought stress condition on the yield and yield components of advanced wheat genotypes in Ardabil, Iran. *J. Food Agric. Environ.*, n.7, p. 228-234.
- Nye, P-H., and Greenland, D-J. 1960.** The soil under shifting cultivation. Technical Communication, n. 51. Common wealth Agricultural Bureau, UK, 156 p.
- Oades, J-M. 1993.** The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geode.*, n. 56, p. 377-400.
- Office algérien interprofessionnel des céréales (OAIC). 2013a.** Note de Conjoncture 3ème Trimestre 2013. Novembre 2013, 11 p.
- Office algérien interprofessionnel des céréales (OAIC). 2013b.** Céréales: hausse de 5% de la facture des importations les dix premiers mois de 2013. APS, lundi 2 décembre 2013, 3p.
- Ohno, T., and Erich, S. 1997.** Inhibitory effects of crop residue-derived organic ligands on phosphate adsorption kinetics. *J. Environ. Qual.*, n. 26, p. 889-895.
- Olaoye, J-O. 2002.** Influence of tillage on crop residue cover, soil properties and yield components of cowpea in derived savannah ectones of Nigeria. *Soil Till. Res.*, n. 64, p. 179-187.
- Onal, I., and Aykas, E. 1993.** The effects of some pto-driven rotary tillers on the soil wheat growth and operational characteristics under the conditions of Aegean region. In: 5th. Int. Congress on Mech. and Energy in Agriculture, p. 11-14.
- Oner, M-D. 2002.** Bulgur industry, Problems and suggestions for solution. In Bayram, M., and Bozkurt, H. (Eds). Cereal 2002 congress. 3- 4 October, p. 39-49.
- Organisation de Coopération et de Développement Economiques (OCDE). 2009.** Ressources naturelles et croissance pro-pauvres: enjeux économiques et politiques. Paris : OCDE. 185 p.
- Osunbitan, J-A., Oyedele, D-J., and Adekalu, K-O. 2005.** Tillage effects on bulk density hydraulic conductivity and strength of a loam sand soil in southwestern Nigeria. *Soil Till. Res.*, n. 82, p. 57-64.
- Ouanzar, S. 2012.** Etude comparative de l'effet du semis direct et du labour conventionnel sur le comportement du blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire de magister : Université Ferhat Abbas Sétif. 60 p.
- Oussible, M., Crookston, R-K., and Larson, W-E. 1992.** Subsurface compaction reduces the root and shoot growth and grain yield of wheat. *Agron. J.*, n. 84, p. 34-38.
- Oweis, T., Zhang, H., and Pala, M. 2000.** Water use efficiency of rainfed and irrigated bread wheat in a Mediterranean environment. *Agron. J.*, n. 92, p. 231-238.
- Ozpinar, S. 2006.** Effects of tillage on productivity of a winter wheat-vetch rotation under dryland Mediterranean conditions. *Soil Till. Res.*, n. 89, p. 258-265.
- Ozpinar, S., and Cay, A. 2006.** Effect of different tillage systems on the quality and crop productivity of a clay-loam soil in semi-arid north-western Turkey. *Soil Till. Res.*, n. 88, p. 95-106.
- Ozturk, H-H., Ekinici, K., and Barut, Z-B. 2006.** Energy Analysis of the tillage systems in second crop corn production. *J. Sustain. Agric.*, n. 28, p. 25-37.
- Pachepsky, Y-A. and Rawls, W-J. 2003.** Soil structure and pedotransfer functions. *Eur. J. Soil Sci.*, n. 54, p. 443-451.
- Palm, C., Blanco-Canqui, H., DeClerck, F., Gatere, L., and Grace, P. 2014.** Conservation agriculture and ecosystem services: an overview. *Agric. Ecosyst. Environ.*, n. 187, p. 87-105.
- Panettieri, M., Knicker, H., Murillo, J-M., Madej'on, E., and Hatcher, P-G. 2014.** Soil organic matter degradation in an agricultural chronosequence under different tillage regimes evaluated by organic matter pools, enzymatic activities and CPMAS 13C NMR. *Soil Bio. Bioch.*, n. 78, p. 170-181.
- Pannell, D., Marshall, G., Barr, N., Curtis, A., Vanclay, F., and Wilkinson, R. 2006.** Understanding and promoting adoption of conservation technologies by rural land holders. *Aust. J. Exp. Agric.*, n. 46, p. 1407-1424.

- Papakosta, D-K. 1994.** Phosphorus accumulation and translocation in wheat as affected by cultivar and nitrogen fertilization. *J. Agron. Crop Sci.*, n. 173, p. 260–270.
- Passioura, J-B. 2002.** Soil conditions and plant growth. *Plant Cell Environ.*, n. 25, p. 311-318.
- Pedro, A., Savin, R., Parry, M-A-J., and Slafer, G-A. 2012.** Selection for high grain number per unit stem length through four generations from mutants in a durum wheat population to increase yields of individual plants and crops. *Field Crops Res.*, n. 129, p. 59–70.
- Pekrun, C., Kaul, H-P., and Claupein, W. 2003.** Soil tillage for sustainable nutrient management. In El Titi, A. (ed.). 2003. *Soil tillage in agroecosystems*. New-York : CRC Press. p. 83-113.
- Peña, R-J. 2002.** Wheat for Bread and Other Foods. (Site: <http://www.fao.org/docrep/006/y4011e/y4011e0w.htm>.)
- Peng, S., Khush, G-S., and Cassman, K-G. 1994.** Evolution of the new plant ideotype for increased yield potential, in: K.G. Cassman (Ed.), *Breaking the Yield Barrier*, International Rice Research Institute, Philippines, 1994, p. 5–20.
- Peng, Y., and Gitelson, A-A. 2011.** Application of chlorophyll-related vegetation indices for remote estimation of maize productivity. *Agri. Forest Meteorol.*, n. 15, p. 1267-1276.
- Per Pinstrup, A. 1996.** L'alimentation et l'agriculture au XXI<sup>e</sup> siècle. Perspective économique. *USIA*, vol.1. (*Revue électronique*).
- Pierce, F-J., Fortin, M-C., and Staton, M-J. 1994.** Periodic plowing effects on soil properties in a no-till farming system. *Soil Sci. Soc. Am.*, n. 58, p. 1782-1787.
- Pinheiro, E-F-M., de Campos, D-V-B., Balieiro, F-C., Lucia H-C-A., and Marcos, G-P. 2014.** Tillage systems effects on soil carbon stock and physical fractions of soil organic matter. *Agricultural Systems*, n. 132, p. 35–39.
- Pintus, F. 1995.** Impact of irrigation, salinity and cultural practices on wheat yields. Report submitted for the obtaining of the tropical Agronomy diploma. April-September 1995, Montpellier France. 70 p.
- Pisante, M. 2007.** Agriculture Blue. The Italian way of conservation agriculture : Principles, technologies and methods for sustainable production. Il Sole 24 Ore Edagricole, Bologna, Italy. (traduit en anglais).
- Pisante, M. 2013.** Sustainable Agriculture principles, systems and applied technologies agricultural production for the Protection of environment and climate. Il Sole 24 Ore-Edagricole Bologna. 340 p. (traduit en anglais).
- Plaza, C., Courtier-Murias, D., Fernández, J-M., Polo, A., Simpson, A-J. 2013.** Physical, chemical, and biochemical mechanisms of soil organic matter stabilization under conservation tillage systems: A central role for microbes and microbial by-products in C sequestration. *Soil Biol. Biochem.*, n. 57, p. 124-134.
- Plucknett, D-L., Nigel, J-L., Smith, Williams, J-T, et Anishetty, N-M. 1990.** *Banques de gènes et alimentation mondiale*. Édition : Quae INRA .228 p.
- Potter, K-N., Torbert, H-A., and Morrison, J-E. 1995.** Tillage and residue effects on infiltration and sediment losses on vertisols. *Trans. ASAE.*, n. 38, p. 1413–1419.
- Power, J-F., and Peterson, G-A. 1998.** Nitrogen transformations, utilization, and conservation as affected by fallow tillage method. *Soil Till. Res.*, n. 49, p. 37–47.
- Prihar, S-S., and Stewart, B-A. 1990.** Using upper-bound slope through origin to estimate genetic harvest index. *Agron. J.*, n. 82, p. 1160–1165.
- Prystupa, P., Savin, R., and Slafer, G-A. 2004.** Grain number and its relationship with dry matter, N and P in the spikes at heading in response to N×P fertilization in barley. *Field Crops Res.*, n. 90, p. 245–254.
- Quraishi, M-Z., and Mouazen, A-M. 2013.** Development of a methodology for in situ assessment of topsoil dry bulk density. *Soil Till. Res.*, n. 126, p. 229–237.
- Quarrie, S-A., Steed, A., Calestani, C., Gulli, M., Marmiroli, N., Semikhodskii, A., Lebreton, C., Chinoy, C., Steele, N., Pljevjakusic, D., Waterman, E., Weyen, J., Schondelmaier, J., Habash, D-Z., Farmer, P., Saker, L., Clarkson, D-T., Abugalieva, A., Yessimbekova, M., Tueuspekov, Y., Abugalieva, S., Tuberoso, R., Sanguineti, M-C., Hollington, P-A., Aragues, R., Royo, A., and Dodig, D. 2005.** A high-density genetic map of hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.) from the cross Chinese Spring \_ SQ1 and its use to Compare QTLs for grain yield across a range of environments, *Theor. Appl. Genet.*, n. 110, p. 865–880.
- Raghothama, K-G. 1999.** Phosphate acquisition. *Ann. Rev. Plant Phys. Plant Molec. Biol.*, n. 50, p. 665-693.
- Ramade, F. 2003.** *Eléments d'écologie (Ecologie fondamentale)*. 5<sup>e</sup> édition. Paris : Dunod. 690 p.
- Rao, K-P-C., Steenhuis, T-S., Cogle, A-L., Srinivasan, S-T., Yule, D-F., and Smith, G-D. 1998.** Rainfall infiltration and runoff from an alfisol in semi-arid tropical India. 1. No-till systems. *Soil Till. Res.*, n. 48, p. 51–59.
- Rasmussen, K-J. 1999.** Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: a Scandinavian review. *Soil Till. Res.*, n. 53, p. 3–14.
- Raun, W-R., and Johnson, G-V. 1999.** Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agron. J.*, n. 91, p. 357–363.

- Raun, W-R., Solie, J-B., Taylor, R-K., Arnall, D-B., Mack, C-J., and Edmonds, D-E. 2008.** Ramp calibration strip technology for determining midseason nitrogen rates in corn and wheat. *Agron. J.*, n. 100, p. 1088–1093.
- Reicosky, D-C., Allmaras, R-R, 2003.** Advances in tillage research in North American cropping systems. *J. Crop Prod.*, n. 8, p. 75-125.
- Reid, J-B., and Goss, M-J. 1981.** Effect of living roots of different plant species on the aggregate stability of two arable soils. *J. Soil Sci.*, n. 32, p. 521-541.
- Renaud, A. 2014.** Depuis 50 ans, l'offre mondiale de céréales s'est régulièrement adaptée à la demande. *Agreste Synthèses – Grandes cultures – Céréales*, Janvier 2014, n. 229/2014, 7p.
- Reuter, D-J., Elliott, D-E., Reddy, G-D., and Abbott, R-J. 1997.** Phosphorus nutrition of spring wheat (*Triticum aestivum* L.). 1. Effects of phosphorus supply on plant symptoms, yield, components of yield, and plant phosphorus uptake. *Aust. J. Agric. Res.*, n. 48, p. 855–868.
- Reynolds, W-D., and Elrick, D-E. 1991.** Determination of hydraulic conductivity using a tension infiltrometer. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, n. 55, p. 633-639.
- Rezaei, S-A., Gilkes, R-J., Andrews, S-S. and Arzani, H. 2005.** Soil quality assessment in semiarid rangeland in Iran. *Soil Use Manage.*, n. 21, p. 402-409.
- Rhoton, F-E., Bruce, R-R., Buehring, N-W., Elkins, G-., Langdale, C-W., and Tyler, D-D. 1993.** Chemical and physical characteristics of four soil types under conventional and no tillage systems. *Soil Till. Res.*, n. 28, p. 51-61.
- Riah, N., Béna, G., Djekoun, A., Heulin, K., de Lajudie, P., and Laguerre, G. 2014.** Genotypic and symbiotic diversity of Rhizobium populations associated with cultivated lentil and pea in sub-humid and semi-arid regions of Eastern Algeria. *Sys. Appl. Microbio.*, n. 37, p. 368-375.
- Ricards, R-A., 1983.** Manipulation of area and its effects on grain yield in drought wheat. *Aust. J. Agric. Res.*, n. 34, p. 23 - 31.
- Richard, G., Boiffin, J., and Duval, Y.1995.** Direct drilling of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) into a cover crop: effects on soil physical conditions and crop establishment. *Soil Till. Res.*, n. 34, p. 169-185.
- Richard, G., Boizard, H., Roger-Estrade, J., Boiffin, J., and Guerif, J. 1999.** Field study of soil compaction due to traffic in northern France: pore space and morphological analysis of the compacted zones. *Soil Till. Res.*, n. 51, p. 151-160.
- Richard, J-F. 2007.** L'expérience de l'agriculture de conservation dans le monde. In: Séminaire National de lancement du projet d'appui au développement de l'agriculture de conservation, Bizerte, Tunisie, p. 16–17.
- Rieger, S., Richner, W., Streit, B., Frossard, E, and Liedgens, M. 2008.** Growth, yield, and yield components of winter wheat and the effects of tillage intensity, preceding crops, and N fertilization. *Euro. J. Agron.*, n. 28, p. 405–411.
- Rockmore, D-N. 1997.** Some application of generalized FFTs. In Finkelstein, L. Kantor, W.M. 1997. *Groups and Computation II. American mathematical society*, vol. 28 .1997. Editions: AMS et DIMACS, p. 329-366.
- Rogers, E., 2003.** *Diffusion of Innovations*. 5<sup>ème</sup> édition. New York: Free Press. 576 p.
- Roose, E. 1993.** Capacité des jachères à restaurer la fertilité des sols pauvres en zone soudano-sahélienne. In Floret, C., Serpantié, G. (Eds.). 1993. *La jachère en Afrique de l'Ouest*. Paris: ORSTOM. p. 233–244.
- Roper, M-M. and Gupta, V-V-S-R. 1995.** Management practices and soil biota. *Aus. J. Soil Res.*, n. 33, p. 321-339.
- Rouabhi, A. 2008.** Efficacité d'utilisation de l'eau et sélection de variétés de blé dur sous les conditions du climat semi aride. Mémoire de magister : Université Ferhat Abbas Sétif. 65 p.
- Royo, C., Abaza, M., Blanco, R., and Garcia del Moral, L-F. 2000.** Triticale grain growth and morphometry as affected by drought stress, late sowing and simulated drought stress. *Aust. J. Plant Physiol.*, n. 27, p. 1051–1059.
- Rusinamhodzi, L., Corbeels, M., van Wijk, M-T., Rufino, M-C., Nyamangara, J., and Giller, K-E. 2011.** A meta-analysis of long-term effects of conservation agriculture on maize grain yield under rain-fed conditions. *Agron. Sustainable Dev.*, n. 31, p. 657–673.
- Russell, R-S. 1977.** *Plant root systems: their function and interaction with the soil*. McGraw-Hill Book Company (UK) Limited, Maidenhead, Berkshire (UK).
- Saadi, S., Todorovic, M., Tanasijevic, L., Pereira, L-S., Pizzigalli, C., and Lionello, P. 2014.** Climate change and Mediterranean agriculture: Impacts on winter wheat and tomato crop evapotranspiration, irrigation requirements and yield. *Agric. Water Manage.*, n. 147, p. 103-115.
- Saber, N. and Mrabet, R. 2002a.** Impact of no tillage and crop sequence on selected soil quality attributes of a vertic calcixeroll soil in Morocco. *Agron.*, n. 22, p. 451-459.
- Saber, N., et Mrabet, R. 2002b.** Influence du travail du sol et des rotations de cultures sur la qualité d'un sol argileux gonflant en milieu semi-aride marocain. *Rev. Étude Gest. Sol.*, Vol. 9, n. 1, p. 43 -53.
- Sabour, I. 1995.** Fluorescence chlorophyllienne et tolérance au stress hydrique chez le blé (*Triticum aestivum* L.). CEA : faculté des sciences de Fez. 48 p.

- Saharawat, Y-S., Singh, B., Malik, R-K., Ladha, J-K., Gathala, M., Jat, M-L., and Kumar, V. 2010.** Evaluation of alternative tillage and crop establishment methods in a rice wheat rotation in North Western IGP. *Field Crop Res.*, n. 116, p. 260–267.
- Sainju, U-M., Caesar-Tonthat, T., Lenssen, A-W., Evans, R-G., and Kolberg, R. 2007.** Long-term tillage and cropping sequence effects on dryland residue and soil carbon fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, n. 71, p. 1730–1739.
- Salban, S-S., and Ramaswamy, H-S. 2003.** Physical and thermal properties of cereal grains. In Amalendu, C., Arun, S., M., and Hosahalli, S-R. 2003. *Handbook of Postharvest Technology : Cereals, Fruits, Vegetables, Tea, and Spices.* CRC Press. p. 17-40.
- Salem, H-M., Valero, C., Ángel Muñoz, M., Rodríguez, M-G., and Silva, L-L. 2014.** Short-term effects of four tillage practices on soil physical properties, soil water potential, and maize yield. *Geod.*, n. 237-238, p. 60–70.
- Salter, P-J., and Goode, J-E. 1967.** Crop responses to water at different stages of growth. Common w. Bur. Hortic. *Plant Crops Res.*, n. 2.p.xx-xx
- Salvo, L., Hernández, J., Ernst, O. 2010.** Distribution of soil organic carbon in different size fractions, under pasture and crop rotations with conventional tillage and no-till systems. *Soil Till. Res.*, 2010, n. 109, p. 116–122.
- Sands, R., Greacen, E-L., and Gard, C-J. 1979.** Compaction of sandy soils in Radiata pine forests. I. A penetrometer study. *Aust. J. Soil Res.*, n. 17, p. 101-113.
- Santín-Montany, M-I., Zambrana, E., Fernandez-Getino, A-P., and Tenorio, J-L. 2014.** Dry pea (*Pisum sativum* L.) yielding and weed infestation response, under different tillage conditions. *Crop Protect.*, n. 65, p. 122-128.
- Sasal, M-C., Andriulo, A-E., and Taboada, M-A. 2006.** Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.*, n. 87, p. 9–18.
- Satorre, E-H., and Slafer, G-A. 1999.** *Wheat: ecology and physiology of yield determination.* New-York : Food products press. 503 p.
- Schjø nning, P., and Rasmussen, K-J. 2000.** Soil strength and soil pore characteristics for direct drilled and ploughed soils. *Soil Till. Res.*, n. 57, p. 69–82.
- Schjø nning, P., and Thomsen, I-K. 2013.** Shallow tillage effects on soil properties for temperate -region hard-setting soils. *Soil Till. Res.*, n. 132, p. 12–20.
- Schlesinger, W-H. 1999.** Carbon sequestration in soils. *Sci*, n. 284, p. 2095.
- Scopel, E., Triomphe, B., Affholder, F., Da silva, F-A-M., Corbeels, M., et al. 2013.** Conservation agriculture cropping systems in temperate and tropical conditions, performances and impacts. *Agron. Sustain. Dev.*, Vol. 33, n. 1, p. 113-130.
- Sebillotte, M. 1990.** Le système de culture, un concept opératoire pour les agronomes. In Combe, L., Picard, D. (Eds.), *Un point sur... Les systèmes de culture.* Paris: INRA éditions. p. 165-196.
- Sebillotte, M., Allain, S., Doré, T., et Meynard, J-M. 1993.** La jachère et ses fonctions agronomiques, économiques et environnementales diagnostic actuel. *Courrier de l'env. INRA*, n. 20, septembre 1993. p. 125-136.
- Serrieys, H. 1992.** Agrophysiological consequences of a divergent selection based on foliar desiccation in sunflower, Proc. Int. Symp on Physiology- Breeding of Winter Cereals, 3-6 July, Montpellier, France. Colloques de l'INRA n. 55, p. 211-224.
- Sessiz, A., Alp, A., and Gursoy, S. 2010.** Conservation and conventional tillage methods on selected soil physical properties and corn (*Zea mays* L.) yield and quality under cropping system in Turkey. *Bulg. J. Agric. Sci.*, n. 16, p. 597–608.
- Sharma, P., Abrol, V., and Sharma, R-K. 2011.** Impact of tillage and mulch management on economics, energy requirement and crop performance in maize–wheat rotation in rainfed subhumid inceptisols, India. *Eur. Jour. Agron.*, n. 34, p. 46–51.
- Sharpley, A-N. 2003.** Soil mixing to decrease surface stratification of phosphorus in manured soils. *J. Environ. Qual.*, n. 32, p. 1375–1384.
- Sharpley, A-N., and Smith, S-J. 1994.** Wheat tillage and water quality in the Southern Plains. *Soil Till. Res.*, n. 30, p. 33–48.
- Shipitalo, M-J., and Protz, R. 1987.** Comparison of morphology and porosity of a soil under conventional and zero tillage. *Can. J. Soil Sci.*, n. 67, p. 445-456.
- Shirani, H., Hajabbasi, M-A., Afyuni, M., and Hemmat, A. 2002.** Effects of farmyard manure and tillage systems on soil physical properties and corn yield in central Iran. *Soil Till. Res.*, n. 68, p. 101–108.
- Shpiler, L., and Blum, A., 1986.** Differential reaction of wheat cultivars to hot environments. *Euphytica*, n. 35, p. 483–492.
- Shpiler, L., and Blum, A., 1991.** Heat tolerance for yield and its components in different wheat cultivars. *Euphy.*, n. 51, p. 257–263.

- Shuster, W-D., and Edwards, C-A. 2003.** Interactions between tillage and earthworms in agroecosystems. In El Titi, A. (Ed.). 2003. *Soil tillage in agroecosystems*. New-York: CRC Press. p. 229-260.
- Sidhu, D., and Duiker, W. 2006.** Soil compaction in conservation tillage : crops impacts. *Agron. J.*, n. 98, p. 1257–1264.
- Sillon, J-F., Richard, G., and Cousin, I. 2003.** Tillage and traffic effects on soil hydraulic properties and evaporation. *Geode.*, n. 116, p. 29– 46.
- Singh, B., Chanasyk, D-S., and McGill, W-B. 1995.** Soil hydraulic properties of an orthic black chernozem under long-term tillage and residue management. *Can. J. Soil Sci.*, n. 76, p. 63–71.
- Singh, B., and Malhi, S-S. 2006.** Response of soil physical properties to tillage and residue management on two soils in a cool temperate environment. *Soil Till. Res.*, n. 85, p. 143–153.
- Six, J., Conant, T., Paul, A., and Paustian, K. 2002a.** Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. *Plant Soil*, n. 241, p. 155–176.
- Six, J., Feller, C., Deneff, K., Ogle, S-M., de Moraes, S-A., and Albrecht, J-C-A. 2002b.** Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils; effects of no-tillage. *Agro.*, n. 22, p. 755– 775.
- Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S. and Deneff, K. 2004.** A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Till. Res.*, n. 79, p. 7-31.
- Slavik, B. 1974.** *Methods of Studying Plant Water Relations*. Academia. Prague.
- Slyter, R-O., and Barrs, H-D. 1965.** Modifications to the relative turgidity technique with notes on its significance as an index of the internal water status of leaves. In: F.E. Eckardt (Ed.). *Methodology of Plant Eco-Physiology*. UNESCO. Paris. p. 331-342.
- Smadhi, D., Mouhouche, B., Mohamedou, M., et Semiani, M. 2002.** Bilan hydrique et besoin d'irrigation de la céréaliculture en région semi-aride. *H.T.E*, Septembre -Décembre 2002, n. 124, p. 53-58.
- Smadhi, D., Mouhouche, B., Zella, L., et Semiani, M. 2009.** Pluviométrie et céréaliculture dans le système agro-économique de l'Algérie. *Sci. Tech.*, Juin 2009, n. 29, p. 56-62.
- Smith, P. 2004.** Carbon sequestration in croplands: the potential in Europe and the global context. *Eur. J. Agron.*, n. 20, p. 229-236.
- Smith, R-C-G., and Harris, H-C. 1981.** Environmental resources field grown crops: Theory and experiments. *Ann. Botany and restraints to agricultural production in a Mediterranean* 67, 181–190. type environment. *Plant and Soil*, n. 58, p. 31–57.
- Snyman, H-A., and Du Preez, C-C. 2005.** Rangeland degradation in a semi-arid South Africa, II: influence on soil quality. *J. Arid Env.*, n. 60, p. 483–507.
- Soane, B-D., Ball, B-C., Arvidsson, J., Basch, G., Moreno, F., and Roger-Estrade, J. 2012.** No till in northern: western and south-western Europe: a review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil Till. Res.*, n. 118, p. 68–87.
- Soltner, D. 2005.** Les grandes productions végétales – céréales – Plantes sarclées - Prairies, Phytotechnie spéciale. 20<sup>ème</sup> édition. Édition : Sciences et Techniques Agricoles. 471 p.
- Spagnoletti-Zenli, T-L., and Qualset, P-O. 1990.** Flag leaf variation and the analysis of diversity in Durum wheat. *Plant bre.*, n. 105, p. 189-202.
- SSSA, 2006.** *Soil Science Society of America*. [en ligne]. Disponible sur [www.soils.org](http://www.soils.org) (consulté le 2 août 2006).
- Stagnari, F., Ramazzotti, S., and Pisante, M. 2010.** Conservation agriculture: a different approach for crop production through sustainable soil and water management: a review. In : Lichtfouse, E. (Ed.). 2010. *Organic Farming, Pest Control and Remediation of Soil Pollutants*. New York: Springer, Dordrecht/Heidelberg. p. 55– 83.
- Steduto, P., Albrizio, R., Giorio, P., and Sorrentino, G. 2000.** Gas exchange response and stomatal and non-stomatal limitations to carbon assimilation of sunflower under salinity, Vol. 144, n. 3, p. 243–255.
- Stengel, P., Douglas, J-T., Guérif, J., Goss, M-J., Monnier, G., and Cannell, R-Q. 1984.** Factors influencing the variation of some properties of soils in relation to their suitability for direct drilling. *Soil Till. Res.*, n. 4, p. 35-53.
- Stewart, B-A. 1989.** Limited-Irrigation/Dryland Farming System for Efficient water management in Semi-Arid Environments. In: Proceedings of an IBSRAM Inaugural Workshop on Management of Vertisols for improved agricultural production. *ICRISAT*, India, p. 101-112.
- Stinner, B-R., Mc Catney, D-A., and Van Doren, D-M. 1988.** Soil and foliage arthropod communities in conventional, reduced and no-tillage corn systems: a comparison after 20 years of continuous cropping. *Soil Till. Res.*, n. 11, p. 147–158.
- Stone, L-R., and Schlegel, A-J. 2010.** Tillage and crop rotation effect on soil physical properties in the west-central plains. *Agron. J.*, n. 102, p. 483–491.
- Su, Z-Y., Zhang, J-S., Wu, W-L., Cai, D-X., Lv, J-J., Jiang, G-H., Huang, J., Gao, J., Hartmann, R., and Gabriels, D. 2007.** Effects of conservation tillage practices on winter wheat an water-use efficiency and crop yield on the Loess Plateau, China. *Agric. Water Manage.*, n. 87, p. 307–314.

- Swardji, P. and Eberbach, P-L. 1998.** Seasonal changes of physical properties of an Oxic Paleustalf (Red Kandosol) after 16 years of direct drilling or conventional cultivation. *Soil Till. Res.*, n. 49, p. 65–77.
- Svoray, T., Mazor, S., and Bar, P. 2007.** How is shrub cover related to soil moisture and patch geometry in the fragmented landscape of the Northern Negev desert. *Land. Eco.*, n. 22, p. 105–116.
- Taboada, M-A., Micucci F-G., Cosentino D-J., and Lavado R-S. 1998.** Comparison of compaction induced by conventional and zero tillage in two soils of the Rolling Pampa of Argentina. *Soil Till. Res.*, n. 49, p. 57-63.
- Tan, C-S., Drury, C-F., Reynolds, W-D., Gaynor, J-D., Zhang, T-Q., and Ng, H-Y. 2002.** Effect of long-term conventional tillage and no-tillage systems on soil and water quality at the field scale. *Water Sci. Techno.*, n. 46, p. 183-190.
- Tanasijevic, L., Todorovic, M., Pereira, L., Pizzigali, C., and Lionello, P. 2014.** Impacts of climate change on olive crop evapotranspiration and irrigation requirements in the Mediterranean region. *Agric. Water Manage.*, octobre 2014, Vol. 144, p. 54-68.
- Tang, Q-X., Li, S-K., Xie, R-Z., Zhang, J-X., Ren, T-Z., Lin, T., and Gao, S-J. 2011.** Effects of conservation tillage on crop yield: a case study in the part of typical ecological zones in China. *Agric. Sci.* n. 10, p. 860–866.
- Tebrügge, F. and Düring, R-A. 1999.** Reducing tillage intensity - a review of results from a long-term study in Germany. *Soil Till. Res.*, n. 53, p. 15-28.
- Terminiello, A-M., Clverie, J., Casado, J., and Balbuena, R. 2000.** Cone index evolution through the growth season of cabbage crop (*Brassica oleracea* L.). In: Proceedings of the IV CADIR (Agricultural Engineering 2005–2007), Vol. 1, Argentina, p. 68–73.
- Thomas, F., Archambeaud, M., Billerot, S., et Carville, C. 2009.** Techniques de conservation des sols. France : Madison. 106 p.
- Tilling, A-K., O'Leary, G., Ferwerda, J-G., Jones, S-D., Fitzgerald, G., and Belford, R. 2007.** Remote sensing to detect nitrogen and water stress in wheat. *Field Crops Res.*, n. 104, p. 77–85.
- Timsina, J., and Connor, D-J. 2001.** Productivity and management of rice-wheat cropping systems: Issues and challenges. *Field Crop Res.*, n. 69, p. 93-132.
- Țopa, D., Ailincăi, C., and Jităreanu, G. 2011.** Soil compaction influence on winter wheat yield and soil physical properties. *Lucrări Științifice- Seria Agronomie*, n. 54, p. 306–310.
- Touahria, O. 2012.** Effets des résidus et du non-labour sur le comportement de la céréale sous conditions semi-arides des hautes plaines orientales. Mémoire de magister : Université Ferhat Abbas Sétif. 53 p.
- Trethowan, R-M., Mahmood, T., Ali, Z., Oidach, K., and Garcia, A-G. 2012.** Breeding wheat cultivars better adapted to conservation agriculture. *Field Crop Res.*, n. 132, p. 76–83.
- Trevini, M., Benincasa, P., and Guiducci, M. 2013.** Strip tillage effect on seedbed tilth and maize production in Northern Italy as case-study for the Southern Europe environment. *Eur. Jour. of Agron.*, n. 48, p. 50– 56.
- Triboï, E. 1990.** L'agrophysiologie de la qualité : effet du milieu climatique et nutritionnel sur l'expression du potentiel génétique de la qualité. In: *Gluténines de haut poids moléculaire et qualité des blés*. Colloque INRA. p. 59-76.
- Tripathi, R-P., Sharma, P., and Singh, S. 2007.** Influence of tillage and crop residue on soil physical properties and yields of rice and wheat under shallow water table conditions. *Soil Till. Res.*, n. 92, p. 221-226.
- Triplett, Jr-G.B., and Dick, W-A. 2008.** No-tillage crop production: a revolution in agriculture! *J. Agron.*, n. 100, p. 153-165.
- Troccoli, A., Borrelli, G-M., De Vita, P., Fares, C., and Di Fonzo, N., 2000.** Durum wheat quality: a multidisciplinary concept. *J. Cereal Sci.*, n. 32, p. 99–113.
- Turner, N-C. 1986.** Adaptation to water deficit: a changing perspective, *Aust. J. Plant Physiol.*, n. 13, p. 175–190.
- Unger, P-W. 1978.** Straw mulch rate effect on soil water storage and sorghum yield. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, n. 42, p. 486-491.
- Unger, P-W. 1996.** Soil bulk density, penetration resistance, and hydraulic conductivity under controlled traffic conditions. *Soil Till. Res.*, n. 37, p. 67–75.
- Unger, P-W., and 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.*, n. 45, p. 39–57.
- Urban, L., et Urban, I. 2010.** *La production sous serre, tome 2: l'irrigation fertilisante en culture hors sol*. 2<sup>ème</sup> édition. France: Lavoisier. 233 p.
- Usman, K., Khan, E-A., Yazdan, F-I., Khan, N., Rashid, A., and Din, S-Ud. 2014.** Short Response of Spring Wheat to Tillage, Residue Management and Split Nitrogen Application in a Rice-Wheat System. *J. Integ. Agri.*, December 2014, Vol.13, n. 12, p. 2625-2633.
- Utset, A., and Cid, G. 2001.** Soil penetrometer resistance spatial variability in a Ferralsol at several soil moisture conditions. *Soil Till. Res.*, n. 61, p. 193–202.
- Vadon, B., Lamouchi, L., Elmay, S., Mahnane, S., Benaouda, H., et Elgharras, O. 2006.** Organisations paysannes: Un levier pour développer l'agriculture de conservation au Maghreb. Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens, n. 69, p. 87-99.

- Valentin, C., and Bresson, L-M. 1992.** Morphology, genesis and classification of surface crusts in loamy and sandy soils. *Geode.*, n. 55, p. 225–245.
- Van den Putte, A., Govers, G., Diels, J., Gillijns, K., and Demuzere, M. 2010.** Assessing the effect of soil tillage on crop growth: A meta-regression analysis on European crop yields under conservation agriculture. *Euro. J. Agron.*, n. 33, p. 231–241.
- VandenBygaart, A-J., Protz, R., Tomlin, A-D., and Miller, J-J. 1999a.** Tillage system effects on near-surface soil morphology: observations from the landscape to micro-scale in silt loam soils of southwestern Ontario. *Soil Till. Res.*, n. 51, p. 139–149.
- VandenBygaart, A-J., Protz, R., and Tomlin, A-D. 1999b.** Changes in pore structure in a no till chronosequence of silt loam soils, southern Ontario. *Can. J. Soil Sci.*, n. 79, p. 149–160.
- Varvel, G-E., Schepers, J-S., and Francis, D-D. 1997.** Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. *Soil Sci. Soc. Am. Jour.*, n. 61, p. 1233–1239.
- Vauchin, M., and Chopart, J-L. 1997.** Multi-disc infiltrometry for in-situ determination of the surface hydrodynamic features of a gravel soil in Cote-d'Ivoire. *L'Agron. Trop.*, Vol. 46, n. 4, p. 259-271.
- Vetsch, J-A., and Randall, G-W. 2004.** Corn production as affected by nitrogen application timing and tillage. *Agron. Jour.*, n. 96, p. 502–509.
- Viaux, P. 1999.** *Comprendre une 3<sup>ème</sup> voie en grande culture.* Paris : France Agricole. 377 p.
- Vierling, E. 2008.** *Aliments et boissons: Filières et produits.* 3<sup>ème</sup> édition. France : Kluwer. 272 p.
- Wade, A., Spink, J-H., and Orson, J. 2006.** The effect of cultivation method on optimum plant population in winter wheat. Project Report N<sup>o</sup>. 405. Home-Grown Cereals Authority, London.
- Walter, S. 1984.** Céréales et oléagineux. Manutention. *Commerciales transformation*, n. 3, 350 p.
- Wang, J., Zhang, H., Li, X., Su, Z., Li, X., and Xu, M. 2014.** Effects of tillage and residue incorporation on composition and abundance of microbial communities of a fluvo-aquic soil. *Euro. J. Soil Bio.*, n. 65, p. 70-78.
- Wang, X-B., Cai, D-X., Hoogmoed, W-B., Oenema, O., and Perdok, U-D. 2007.** Developments in conservation tillage in rainfed regions of north China. *Soil Till. Res.*, n. 52, p. 239–250.
- Wardle, D- A. 1995.** Impacts of disturbance on detritus food webs in agro-ecosystems of contrasting tillage and weed management practices. In Begon, M., and Fitter, A. H. (eds.), *Advances in Ecological research*, Vol. 26, Academic Press, New-York (USA), p. 105-185.
- West, T-O., and Post, W-M. 2002.** Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, n. 66, p. 1930–1946.
- White, I., Sully, M-J., and Perroux, K-M. 1992.** Measurement of surface- soil hydraulic properties: disk permeameters, tension, infiltrometers, and other techniques. In Topp, G-C., Reynolds, W., Green, R-D. (Eds.). *Advances in Measurement in Soil Physical Properties Bringing Theory into Practice.* SSSA, Special Publication N<sup>o</sup>. 30.
- Whitmore, J-S. 2000.** *Drought management of Farmland.* The Netherlands : Kluwer. 362 p.
- Whittington, W-J. 1968.** *Root growth.* Butterworth and Co. Ltd., London (UK).
- Wiatrak, P-J., Wright, D-L., and Marois, J-J. 2006.** The impact of tillage and residual nitrogen on wheat. *Soil Till. Res.*, n. 91, p. 150–156.
- Wicks, G.A., Cruchfield, A., and Burnside, O., 1994.** Influence of wheat (*Triticum aestivum*) straw mulch on metolachlor corn (*Zea mays*) growth and yield. *Weed Sci.*, n. 1, p. 141–147.
- Wilhelm, W-W. 1998.** Dry-matter partitioning and leaf area of winter wheat grown in a long-term fallow tillage comparison in the US Central Great Plains. *Soil Till. Res.*, n. 49, p. 49-56.
- Winter, J-P., Voroney, R-P., and Ainsworth, D-A. 1990.** Soil microarthropods in long-term no-tillage and conventional tillage corn production. *Can. J. Soil Sci.*, n. 70, p. 641–653.
- Wood, K., Rubio, H., and Wood, C. 2008.** Rangeland management and hydrology. In: *Proceedings XXI International Grassland Congress and VII International Rangeland Congress, Hohhot, China*, n. 1, p. 809–812.
- Wooding, R-A. 1968.** Steady infiltration from a shallow circular pond. *Water Resources Res.*, n. 4, p. 1259-1273.
- Wyn, J., and Pollard, R-G. 1983.** Protein, enzymes and inorganic ions. In Laichli, R-L., and Bielecki, x (eds). *Inorganic plant nutrition.* New York: Springer. p. 528-562.
- Xie, R-Z., Li, S-K., Jin, Y-Z., Li, X-J., Tang, Q-X., Wang, K-R., and Gao, S-J. 2008.** The trends of crop yield responses to conservation tillage in China. *Sci. Agric. Sin.*, n. 41, p. 397–404.
- Yamagishi, J., Nakamoto, T., and Richner, W. 2003.** Stability of spatial variability of wheat and maize biomass in a small field managed under two contrasting tillage systems over 3 years. *Field Crop. Res.*, n. 81, p. 95-108.
- Yang, X-D., Yan E-R., Chang, S. X., Wang, X-H., Zhao, Y-T., and Shi, Q-R. 2014.** Twig-leaf size relationships in woody plants vary intraspecifically along a soil moisture gradient. *Acta Oecol.*, n. 60, p. 17-25.
- Yavuzcan, H-G., Vatandas, M., and Gürhan, R. 2002.** Soil strength as affected by tillage system and wheel traffic in wheat–corn rotation in central Anatolia. *J. Terramech.*, n. 39, p. 23–34.

- Yoro, G., et Godo, G. 1990.** Les méthodes de mesure de la densité apparente : Analyse de la dispersion des résultats dans un horizon donné. *Cahiers ORSTOMXXV*, p. 423-429.
- Young, I-M., Blanchart, E., Chenu, C., Dangerfield, M., Fragoso, C., Grimaldi, M., Ingram, J. and Monrozier, L-J. 1998.** The interaction of soil biota and soil structure under global change. *Global Chan. Bio.*, n. 4, p. 703-712.
- Zachmann, J-E., and Linden, D-R. 1989.** Earthworm effects on corn residue breakdown and infiltration. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, n. 53, p. 1846-1849.
- Zaghouane, O., Abdellaoui, Z., et Houassine, D. 2006.** Quelles perspectives pour l'agriculture de conservation dans les zones céréalières en conditions algériennes?. *Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens*, n. 69, p. 183-187.
- Zhang, H., and Oweis, T. 1999.** Water yield relation and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region. *Agric. Water Manage.*, n. 57, p. 175-206.
- Zhang, Z-y., Zhang, X-k., Jhao, J-s., Zhang X-p., and Liang, W-j. 2014.** Tillage and rotation effects on community composition and metabolic footprints of soil nematodes in a black soil. *Eur. J. Soil Bio.*, n. 66, p. 40-48.
- Zhou, L-Y. 1995.** Water consumption and water use efficiency of wheat field in Fengqiu region. *Chin. J. Appl. Ecol.*, n. 6, p. 57-61 (in Chinese with English abstract).
- Zouaoui, A., et Bensaid, R. 2007.** Détermination des exigences climatiques du blé dur (*Triticum durum* Desf. var. Mohamed Ben Bachir) en zone semi-aride. *Cahier. Agric.*, novembre-décembre 2007, Vol.16, n. 6, p. 469-476.

# **ANNEXES**

## ANNEXES

**Tableau 1.** Résultats de l'analyse de la variance de la biomasse accumulée (g/m<sup>2</sup>) chez les plantes adventices pour les différents traitements au 155 JAS.

S.variation	ddl	Monocotylédones	Dicotylédones
Pratiques culturales (F1)	1	33771.12 <sup>***</sup>	4196.66 <sup>*</sup>
Précédent (F2)	2	1556.74 <sup>ns</sup>	851.08 <sup>ns</sup>
Interaction F1*F2	2	1946.36 <sup>ns</sup>	1107.20 <sup>ns</sup>
Erreur	12	551.13	328.36
CV%		52.41	73.30
PPDS 5%		31.25	24.13

ns, \*, \*\* = effet non significatif, significatif au seuil de 5, 1 % respectivement, ddl : degré de liberté, CV : coefficient de variation (%), PPDS : Plus Petite Différence Significative au seuil de 5%.

**Tableau 2.** Coefficients de corrélation entre le rendement grain, le nombre de plants levés, le nombre d'épis/m<sup>2</sup>, et le nombre de grains par épi avec la biomasse des plantes adventices.

Variables	RDT	Plt/m <sup>2</sup>	NEE	NEM	NGE	Dico. 155 JAS	Mon. 155 JAS
<b>RDT</b>							
Plt/m <sup>2</sup>	<b>0.976</b>						
NEE	<b>0.948</b>	<b>0.949</b>					
NEM	<b>0.880</b>	<b>0.932</b>	<b>0.813</b>				
NGE	<b>0.873</b>	0.779	0.719	0.631			
Dico.155 JAS	-0.668	-0.657	-0.458	-0.698	-0.738		
<b>Mon. 155 JAS</b>							
JAS	<b>-0.962</b>	<b>-0.942</b>	<b>-0.974</b>	-0.769	<b>-0.827</b>	0.573	

RDT : rendement grain (q/ha), Plt/ m<sup>2</sup> : nombre de plants levés/m<sup>2</sup>, NEE : nombre d'épis au stade épiaison/m<sup>2</sup>, NEM : nombre d'épis au stade maturité/m<sup>2</sup>, NGE : nombre de grains par épi, JAS : jours après semis; Dico.155 JAS : plantes adventices dicotylédones au prélèvement réalisé au 155JAS ; Mon.155 JAS : plantes adventices monocotylédones au prélèvement réalisé au 155JAS.

**Tableau 3.** Valeurs moyennes des caractères agronomiques pour les différents traitements.

S. variation	NP/m <sup>2</sup>	NT/m <sup>2</sup>	Ht P	NE/m <sup>2</sup> (épiaison)	NE/m <sup>2</sup> (maturité)	NGE	PMG	LE (cm)
<b>Effet mode de semis (F1)</b>								
SD	291.83	1206.00	43.47	230.33	236.17	15.74	35.90	4.86
SC	349.00	1575.50	48.51	282.66	289.67	18.76	37.70	4.94
<b>Effet précédent (F2)</b>								
JT/SC	345.50	1471.00	46.04	285.00	288.50	17.53	38.06	4.46
PF/SC	365.50	1582.50	49.95	286.50	312.50	18.74	36.47	5.17
B/SC	336.00	1673.00	49.55	276.50	268.00	20.03	38.58	5.20
JC/SD	281.00	1193.00	41.76	206.50	241.00	15.88	33.51	4.66
PF/SD	291.50	1134.50	45.33	240.50	239.00	14.49	39.04	4.85
B/SD	303.00	1290.50	43.31	244.00	228.50	16.85	35.16	5.05

NP/m<sup>2</sup> : nombre de plants levés/m<sup>2</sup>, NT/m<sup>2</sup> : nombre de talles/m<sup>2</sup>, Ht P : hauteur des plantes (cm), NE : nombre d'épis/m<sup>2</sup>, NGE : nombre de grains par épi, PMG : le poids de mille grains (g), LE : longueur d'épi (cm), B : blé, JC : jachère chimique, JT : jachère travaillée, PF : pois fourrager, SC : système conventionnel, SD : semis direct.

**Tableau 4.** Valeurs moyennes des rendements de la culture du blé dur pour les différents traitements.

S. variation	RDT	RDTbio	PLL	HI
<b>Effet mode de semis (F1)</b>				
SD	13.53	37.07	23.54	36.50
SC	20.79	50.45	29.66	41.80
<b>Effet précédent (F2)</b>				
JT/SC	19.92	44.02	24.10	45.84
PF/SC	21.70	57.84	36.15	37.15
B/SC	20.74	49.47	28.73	42.40
JC/SD	12.40	32.57	20.16	38.62
PF/SD	13.39	40.22	26.83	34.28
B/SD	14.79	38.42	23.63	36.60

RDT : rendement grain (q/ha), RDTbio : rendement en biomasse aérienne (q/ha), PLL : rendement en paille (q/ha), HI : indice de récolte (%), B : blé, JC : jachère chimique, JT : jachère travaillée, PF : pois fourrager, SC : système conventionnel, SD : semis direct.

**Tableau 5.** Valeurs moyennes de la teneur relative en eau (TRE), la teneur en chlorophylle (Chloro.) et la surface foliaire pour les différents traitements.

S. variation	TRE	Chloro.	SF
<b>Effet mode de semis (F1)</b>			
SD	74.57	33.38	7.41
SC	78.28	34.23	8.86
<b>Effet précédent (F2)</b>			
JT/SC	81.51	34.83	8.58
PF/SC	73.51	34.20	9.18
B/SC	79.82	33.66	8.84
JC/SD	78.65	32.53	8.05
PF/SD	73.04	34.36	7.08
B/SD	72.01	33.23	7.10

TRE : teneur relative en eau (%), Chloro. : teneur en chlorophylle (SPAD), SF : surface foliaire (cm<sup>2</sup>), B : blé, JC : jachère chimique, JT : jachère travaillée, PF : pois fourrager, SC : système conventionnel, SD : semis direct.

**Tableau 6.** Valeurs moyennes de l'état de l'humidité du sol en (%) par rapport au précédent cultural et au mode de semis.

<b>S. variation</b>	<b>67 JAS</b>	<b>117 JAS</b>	<b>131 JAS</b>	<b>145 JAS</b>	<b>159 JAS</b>	<b>175 JAS</b>	<b>189 JAS</b>
<b>Effet mode de semis (F1)</b>							
SD	20.25	18.73	13.71	8.11	10.47	18.82	20.06
SC	19.77	18.54	13.88	10.84	10.24	19.35	19.71
<b>Effet précédent (F2)</b>							
JT/SC	20.46	19.77	14.09	8.07	10.81	17.99	19.71
PF/SC	19.95	18.09	13.53	8.30	10.62	19.18	20.36
B/SC	20.33	18.35	13.53	7.95	9.97	19.30	20.10
JC/SD	19.72	19.82	14.25	9.28	10.236	16.98	18.86
PF/SD	19.77	18.24	13.47	13.26	10.13	17.13	20.32
B/SD	19.82	17.55	13.93	9.97	10.346	23.92	19.94

JAS : jours après semi, 67 JAS : correspond au stade levée, 117 JAS : correspond au stade montaison, 145 JAS : correspond au stade épiaison, 189 JAS : correspond au stade maturité physiologique, B : blé, JC : jachère chimique, JT : jachère travaillée, PF : pois fourrager, SC : système conventionnel, SD : semis direct.

**Tableau 7.** Valeurs moyennes des propriétés liées au sol.

<b>S. variation</b>	<b>Da (g.cm<sup>-3</sup>)</b>	<b>K(h) (mm.h<sup>-1</sup>)</b>	<b>Rp (N.cm<sup>-2</sup>)</b>
<b>Effet mode de semis (F1)</b>			
SD	1.27	51.00	635.55
SC	1.32	38.44	697.41
<b>Effet précédent (F2)</b>			
JT/SC	1.23	54.00	617.77
PF/SC	1.31	44.00	600.00
B/SC	1.27	55.00	688.89
JC/SD	1.36	36.67	690.00
PF/SD	1.31	38.67	684.44
B/SD	1.30	40.00	717.78

Da : densité apparente (g.m<sup>-3</sup>), Rp : résistance à la pénétration (N/cm<sup>2</sup>), %, K(h) : conductivité hydraulique (mm/h), B : blé, JC : jachère chimique, JT : jachère travaillée, PF : pois fourrager, SC : système conventionnel, SD : semis direct.

## تحسين إنتاج القمح الصلب في الأنظمة الزراعية المبتكرة

### ملخص

تتميز المناطق الشبه جافة بعدم إنتظام وندرة الأمطار، و كذلك التسيير الغير ملائم للتربة الذي أدى إلى إنقاص المردود. الإحتياج لحفظ الماء في التربة إلى أقصى حد و تحسين مردود الزراعة ساهم في ظهور تقنية البذر المباشر. إذن من أجل دراسة سلوك التربة و نبات القمح الصلب (*Triticum durum*. Desf.) صنف بوسلام تحت تأثير التقنيتين الزراعيتين (الحراث التقليدي و البذر المباشر) و أربعة أنواع من المحاصيل السابقة (أرض بور محروثة، أرض بور كيميائية، البازلاء العلفية، و القمح) في المناطق الشبه جافة، قمنا بإجراء هاته التجربة على مستوى محطة التجارب الفلاحية التابعة للمعهد التقني للزراعات الكبرى بسطيف خلال الموسم الزراعي 2013-2014. ظهرت تقنية الحراث التقليدي أكثر ملائمة بالنسبة للمردود الحبي و مكوناته، و الكتلة الحيوية مقارنة بالبذر المباشر. لكن لا يوجد هناك فرق ذو معنى بين التقنيتين بخصوص وزن ألف حبة، و مردود القش و الخصائص المورفولوجية (المحتوى المائي النسبي، محتوى الكلوروفيل، و مساحة الورقة). كما لا يوجد أي فرق معنوي بين المحاصيل السابقة، غير أن المحصول السابق المتمثل في القمح أظهر نتائج إيجابية بخصوص عدد الفروع في المتر المربع و خصوبة السنبل. أدت البازلاء العلفية المزروعة سابقا إلى تحسين الكتلة الحيوية، مردود القش، و محتوى اليخضور في حالة التربة الغير محروثة. سجل المحتوى المائي النسبي أكبر قيمة له مع أرض بور سابقة. أظهرت دراسة خصائص التربة عدم وجود أي فروق ذات معنى بين العوامل المدروسة بخصوص نسبة الرطوبة في التربة، الكثافة الظاهرة للتربة، و مقاومة التربة للإختراق. كما كانت التربة الغير محروثة نوعا ما متماسكة مقارنة بالتربة المحروثة التي كانت تتميز بسرعة تغلغل الماء في التربة أكبر. العلاقة الدالة و السلبية ( $P < 0.05$ ) ( $r = -0.8733^*$ ) بين الكثافة الظاهرة للتربة و سرعة تغلغل الماء في التربة تؤكد هاته النتائج. ظهرت المادة العضوية في التربة بكمية أكبر في التربة الغير محروثة مقارنة بالتربة المحروثة.

**الكلمات المفتاحية:** تحسين؛ القمح الصلب؛ البذر المباشر؛ الحراث التقليدي؛ محصول سابق؛ المردود و مكوناته؛ تربة؛ شبه جافة.

## Amélioration de la production du blé dur sous systèmes de culture innovants

### Résumé

Les régions semi- arides se caractérisent par l'irrégularité et la rareté des précipitations, ainsi que la gestion inappropriée du sol qui conduisent à la réduction du rendement des cultures. Le besoin de maximiser la conservation de l'eau dans le sol et d'améliorer le rendement des cultures contribue à l'émergence du système de semis direct. En effet, Afin d'étudier le comportement du sol et de la culture de blé dur (*Triticum durum*. Desf) variété Boussellem sous l'effet de deux pratiques culturales (Travail conventionnel et Semis direct) et de quatre précédents culturaux (Jachère travaillée, Jachère chimique, Pois fourrager, et Blé) dans les conditions semi-arides, nous avons réalisé notre expérimentation au cours de la campagne agricole 2013-2014 au niveau de la Station Expérimentale Agricole de l'Institut Technique des Grandes Cultures de Sétif. Le labour conventionnel paraît plus performant que le semis direct pour le rendement grain et ses composantes, et la biomasse aérienne. Mais aucune différence significative n'a été signalé pour le poids de mille grains, le rendement en paille et les caractères morpho-physiologiques (teneur relative en eau, teneur en chlorophylle, et surface foliaire). Aussi, il n'existe pas de différence significative entre les précédents culturaux, mais le précédent blé semble avantageux pour le nombre de talles/m<sup>2</sup> et la fertilité épi. Le précédent pois fourrager conduit à l'amélioration de la biomasse aérienne, le rendement en paille et la teneur en chlorophylle en cas du sol non labouré. La valeur la plus élevée de la teneur relative en eau a été notée avec le précédent jachère. L'étude des caractéristiques du sol indique des différences non significatives entre les traitements pour l'humidité du sol, la densité apparente, et la résistance à la pénétration. Mais le sol non labouré présente une certaine compaction par rapport au sol labouré, qui présente une meilleure vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol. Ces résultats sont confirmés par la corrélation significative et négative ( $r = -0,8733^*$ ) ( $P < 0.05$ ) entre la densité apparente et la vitesse d'infiltration. Le non labour présente une meilleur teneur en matière organique que le système de labour conventionnel.

**Mots clés :** Amélioration; Blé dur; Semis direct; Travail conventionnel; Précédent cultural; Rendement et composantes; Sol; Semi-aride.

## Improving the Durum wheat production in innovative cropping systems

### Abstract

The semi-arid regions are characterized by irregularity and scarcity of rainfall, and inappropriate soil management that lead to the crop yields losses. The need to maximize the conservation of water in the soil and optimize the crop yields have contributed to the emergence of direct seeding system. To study the behavior of soil and durum wheat growth (*Triticum durum*. Desf) Boussellem variety under two cropping systems (conventional tillage and direct seeding) and four previous crops (plowed fallow, chemical fallow, fodder pea, and wheat) in semi-arid conditions, our experimentation was conducted at the Agricultural Experimental Station from the Technical Institute of Field Crops of Setif during 2013-2014. The conventional tillage appears to be more efficient than direct seeding for grain yield and its components, and above ground biomass. However, no significant difference was reported for thousand kernel weight, straw yield and morpho-physiological characters (relative water content, chlorophyll content, and leaf area). Also, there was no significant difference appeared between the previous crops, but the precedent wheat seems to be advantageous for the number of tillers/m<sup>2</sup> and spike fertility. The fodder pea as a previous crop contributed to the improvement of above ground biomass, straw yield and chlorophyll content under no tillage. The highest relative water content estimate was recorded in the precedent fallow. The study of soil characteristics indicates non-significant differences between treatments for soil moisture, bulk density, and the penetrometric resistance. Nevertheless, the untilled soil was more compact compared to the plowed which had a better water infiltration. These results are confirmed by the significant negative relationship ( $r = -0.8733^*$ ) ( $P < 0.05$ ) between the soil bulk density and the hydraulic conductivity. The no-tillage showed a better organic matter than the conventional tillage system.

**Keywords:** Improvement; Durum wheat; Direct seeding; Conventional tillage; Previous crop; Yield and its components; Soil; Semi-arid.