

UNIVERSITÉ ABDELHAMID IBN BADIS DE MOSTAGANEM

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences Agronomiques

Thèse

en Vue de l'Obtention du Diplôme de Doctorat en Sciences

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Production Végétale

Présentée par :

EL MEZOUE Djamel Eddine

Thème

Étude et mise en évidence des effets du semis direct sur la croissance et le développement du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et du petit pois (*Pisum sativum* L.) par rapport à leurs conduites en labour conventionnel

Soutenu publiquement le : 25/06/2019

Membres de jury proposés :

Lotmani Brahim

Benkhelifa Mohammed

Rheinheimer Dos Santos Danilo

Belkhodja Moulay

Brinis Louhichi

Benslama Mohamed

Pr. Président

Pr. Directeur de thèse

Pr. Co-Directeur de thèse

Pr. Examineur

Pr. Examineur

Pr. Examineur

Université de Mostaganem

Université de Mostaganem

Université Santa Maria Brésil

Université d'Oran Es-Senia

Université d'Annaba

Université d'Annaba

UNIVERSITÉ ABDELHAMID IBN BADIS DE MOSTAGANEM

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences Agronomiques

Thèse

en Vue de l'Obtention du Diplôme de Doctorat en Sciences

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Production Végétale

Présentée par :

EL MEZOUE Djamel Eddine

Thème

Étude et mise en évidence des effets du semis direct sur la croissance et le développement du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et du petit pois (*Pisum sativum* L.) par rapport à leurs conduites en labour conventionnel

Soutenu publiquement le : 25/06/2019

Membres de jury proposés :

Lotmani Brahim

Benkhelifa Mohammed

Rheinheimer Dos Santos Danilo

Belkhodja Moulay

Brinis Louhichi

Benslama Mohamed

Pr. Président

Pr. Directeur de thèse

Pr. Co-Directeur de thèse

Pr. Examinateur

Pr. Examinateur

Pr. Examinateur

Université de Mostaganem

Université de Mostaganem

Université Santa Maria Brésil

Université d'Oran Es-Senia

Université d'Annaba

Université d'Annaba

Remerciements

En premier, je remercie Allah de m'avoir donné le courage, la patience et la volonté à bout de ce modeste travail.

Cette thèse de Doctorat est réalisée dans le cadre d'un projet de recherche nommé ProAfrica lié à une convention de coopération scientifique et technique entre l'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem (UMAB) et l'Université Fédérale de Santa Maria (UFMS) du Brésil.

Je tiens à remercier mon Directeur de thèse, Monsieur BENKHELIFA Mohammed, Professeur au département d'agronomie de l'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, d'avoir cru en moi tout au long de ces années de recherche, pour l'attention qu'il m'a accordé, pour sa disponibilité, ses précieux et fructueux conseils qu'il n'a cessé de me prodiguer ainsi que les moyens qu'il a déployé pour la bonne réalisation de ce travail, pour tout cela, je lui adresse mes très sincères remerciements et ma reconnaissance.

Mes sincères remerciements s'adressent également à mon Co-directeur de thèse Monsieur RHEINHIMER DOS SANTOS Danilo, Professeur à l'Université Fédérale de Santa Maria du Brésil, pour ses précieux conseils et orientations durant les trois visites qu'il a effectué à l'université de Mostaganem.

Je remercie vivement Monsieur LOTMANI Brahim, Professeur au département d'agronomie de l'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, pour l'honneur qu'il me fait en présidant le jury de soutenance de thèse.

Que Monsieur BELKHODJA Moulay, Professeur au département de biologie de l'Université Ahmed Ben Bella Essenia d'Oran, trouve ici mes vives et sincères remerciements pour avoir accepté de juger ce travail, je lui adresse mes sentiments les plus respectueux.

Je tiens à exprimer ma gratitude et mes vifs remerciements à Messieurs BRINIS Louhichi et BENSLAMA Mohamed, tous deux Professeurs à l'Université Badji Mokhtar d'Annaba, d'avoir bien voulu honorer de leur présence le jury de soutenance de cette thèse.

Un grand remerciement est adressé à mes amis et collègues : HAOULA Omar, DAHOU Naima, TIKOUR Kheïra, BENSARKHRIA Sara, avec qui j'ai eu l'honneur de travailler sur le terrain et leur aide était très précieuse pour la réalisation du travail expérimental.

*Mes remerciements s'adressent également à Monsieur KADDOUR Azzeddine
et son équipe de l'atelier d'agriculture de Mazagran, pour leur précieuse
aide et soutien durant le travail de terrain.*

*J'exprime également ma gratitude et mes remerciements à l'ensemble du personnel du labora-
toire de pédologie du département d'agronomie de l'Université de Mostaganem dont j'ai l'honneur
de travailler avec et pour toute l'aide que j'ai trouvé pour faire réaliser les différentes analyses,
merci encore une fois.*

*Je profite de cette occasion pour remercier très sincèrement le personnel du laboratoire régio-
nal de l'Institut National des Sols de l'Irrigation et du Drainage (INSID) d'El Matmar-Relizane
et particulièrement Monsieur GACEM Farid, Directeur du laboratoire et Monsieur Kradia Laïd,
ingénieur principal, pour l'aide et le soutien qu'ils m'ont apporté pour la réalisation
des analyses de sol.*

*Un grand merci à toute ma famille pour m'avoir soutenu tout au long
de ma scolarité et mes études de recherches.*

*Enfin, que tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de cette thèse, trouvent
ici l'expression de mes vifs remerciements et ma reconnaissance.*

Dédicaces

Afin d'être reconnaissant envers ceux qui m'ont appuyé et encouragé à effectuer ce travail de recherche, je dédie ce modeste travail :

À ma très chère mère Fatma et à mon très cher père Hadj M'Hamed qui n'ont cessé de me combler par leur amour et leur tendresse.

À ma très chère grand-mère Yamina pour son soutien moral, et pour tous les sentiments d'affection et d'amour qui représentent pour moi le pilier de tous mes efforts.

À tous les membres de ma famille.

Et à tous ceux qui tiennent à ma réussite.

Djamel Eddine

الملخص

في الجزائر، حوالي 95% من التربة تتأثر بمناخ جاف وشبه جاف. يخضع إنتاج القمح في هذه الحالة إلى تداخل الجفاف السنوي تقريباً مع المرحلة الحساسة من تعبئة الحبوب التي تؤثر بشدة على الغلة التي يتم الحصول عليها. في الواقع، لا يتجاوز متوسط العائد الذي يتم الحصول عليه لعدة سنوات 20 قنطاراً للهكتار الواحد. في ظل هذه الظروف، يوصى بتوفير الري التكميلي الذي لا يكون مجدياً دائماً نظراً للمناطق الكبيرة التي تتميز بإنتاج القمح. يمكن أن يكون البذر المباشر بديلاً لأنه يقلل من تبخر الماء بفضل الغطاء النباتي الذي يتكون على سطح التربة من خلال تراكم مخلفات المحاصيل.

الهدف من هذا البحث هو دراسة مقارنة لتأثير الحراثة التقليدية والبذر المباشر على نمو وتطور محصول القمح اللين تحت الظروف شبه جافة في هضبة مستغانم. لهذا، تم إجراء تجربتين في موقع مزگران - مستغانم (غرب الجزائر) لموسمين متتاليين (2012-2013 و 2013-2014). تم إنشاء مخطط لزراعة بتكرار كل نظام حراثة ثلاث مرات.

كانت المكونات الفينولوجية والمورفولوجية وكذلك المحصول ومكوناته. وتم أيضاً أخذ عينات التربة وتحليلها من خلال المعلمات الفيزيوكيميائية والهيدرولوجية.

أظهرت نتائج التجارب التي أجريت بوضوح التأثير الإيجابي لبذر المباشر؛ على الخصائص الفيزيوكيميائية للتربة مقارنة بتلك التي أجريت في الحراثة التقليدية. في هذه الحالة، تكون المعلمات المقاسة على المحصول: ارتفاع طول النباتات، مساحة الورقة، الكتلة الخضراء، عدد الفروع، عدد السنابل وعدد الحبوب. السنبلة، وكذلك محصول الحبوب والتبن أفضل في الحراثة التقليدية. في المقابل، تسجل عمليات البذر المباشر أعلى القيم في تطور رطوبة التربة، المادة الجافة، وعدد النباتات في المتر المربع، وزن الألف حبة ومحتوى الماء النسبي.

تبين هذه الدراسة أن البذر المباشر في ظل ظروف شبه جاف، مقارنة بالحراثة التقليدية، مفيد لزراعة القمح اللين (صنف عين عبيد)، لا سيما فيما يتعلق بتوافر المياه خلال المرحلة الحساسة من تطوير المحصول (تعبئة الحبوب).

الكلمات المفتاحية. البذر المباشر، الحراثة التقليدية، المناخ شبه جاف، المعلمات الفيزيوكيميائية والهيدرولوجية للتربة، المعلمات المورفومترية للقمح اللين.

Résumé

En Algérie, près de 95 % des sols sont concernés par un climat aride et semi-aride. La production de blé est, dans ce cas, soumise au chevauchement d'une sécheresse quasi annuelle avec la phase sensible de remplissage du grain qui affecte fortement les rendements obtenus. En effet, le rendement moyen obtenu depuis plusieurs années ne dépasse pas les 20 quintaux par hectare. Dans ces conditions, il est recommandé de prévoir une irrigation d'appoint qui n'est pas toujours réalisable étant donné les surfaces importantes qui caractérisent la production de blé. Le semis direct peut constituer une alternative puisqu'il permet de diminuer l'évaporation d'eau grâce à la couverture végétale qui se forme à la surface du sol par accumulation des résidus de cultures.

L'objectif du présent travail est une étude comparative des effets du labour conventionnel et du semis direct sur la croissance et le développement d'une culture de blé tendre sous les conditions d'un climat semi-aride du plateau de Mostaganem. Pour cela, deux expérimentations étaient installées sur le site de Mazagran - Mostaganem (Ouest de l'Algérie) pour deux saisons consécutives (2012-2013 et 2013-2014). Un dispositif en blocs complets aléatoires avec trois répétitions était mis en place.

Les paramètres phénologiques, morphophysiologiques et les composantes du rendement étaient suivis sur la culture du blé tendre. Sur les échantillons prélevés dans le sol étaient analysés les paramètres physico-chimiques et hydriques.

Les principaux résultats de cette étude montrent que les parcelles menées en labour conventionnel enregistrent des résultats physico-chimiques du sol plus intéressants par rapport à celles menées en semis direct. Dans ce cas, les paramètres mesurés sur la culture : hauteur des plants, surface foliaire, biomasse aérienne, nombre de talles, d'épis et de grains par mètre carré ainsi que les rendements en grains et en paille sont meilleurs en conduite conventionnelle. A contrario, la conduite en semis direct enregistre les plus grandes valeurs en humidité du sol, en taux de matière sèche, en nombre de plants par mètre carré, en poids de mille grains (PMG) et en teneur en relative de la plante (RWC).

Cette étude montre que le semis direct mené en conditions semi-arides, par rapport au labour conventionnel, s'avère bénéfique pour la culture du blé tendre (variété Aïn Abid), particulièrement en ce qui concerne la disponibilité de l'eau durant la phase sensible de développement de la culture (remplissage du grain).

Mots clés. Semis direct, labour conventionnel, climat semi-aride, paramètres physico-chimiques et hydriques du sol, paramètres morphométriques du blé tendre.

Abstract

In Algeria, nearly 95% of soils are affected by an arid and semi-arid climate. Wheat production in this case is subject to the overlap of an almost annual drought with the sensitive phase of grain filling which strongly affects the yields obtained. In fact, the average yield obtained for several years does not exceed 20 quintals per hectare. Under these conditions, it is recommended to provide supplementary irrigation that is not always feasible given the large areas that characterize wheat production. Direct seeding can be an alternative since it reduces the evaporation of water Through to the vegetal cover that forms on the soil surface by accumulation of crop residues.

The objective of this work is a comparative study of the effects of conventional tillage and direct seeding on the growth and development of a soft wheat crop under the semi-arid conditions of the Mostaganem plateau. For this, two experiments were installed on the site of Mazagran - Mostaganem (Western Algeria) for two consecutive seasons (2012-2013 and 2013-2014). A complete block device with three repetitions was set up.

The phenological, morphophysiological parameters and yield components were followed on the cultivation of wheat. Samples taken from the soil were analyzed for physicochemical and water parameters.

The main results of this study show that conventional tillage plots record better soil physico-chemical results compared to those conducted in no-till. In this case, the parameters measured on the crop : height of the plants, leaf area, above-ground biomass, number of tillers, ears and grains per square meter, as well as grain and straw yields are better in conventional tillage. In contrast, no-till operations record the highest soil moisture, dry matter, number of plants per square meter, thousand grain weight (PMG), and relative water content (RWC).

This study shows that direct seeding under semi-arid conditions, compared with conventional tillage, is beneficial for the cultivation of soft wheat (Aïn Abid variety), particularly with regard to the availability of water during the sensitive phase of crop development (grain filling).

Key words. Direct seeding, conventional tillage, semi-arid climate, physico-chemical and soil moisture parameters, morphometric parameters of soft wheat.

Liste des tableaux

Tableau 1. Surfaces affectées au niveau mondial par les quatre processus majeurs de dégradation des sols (en millions d'hectares) -----	8
Tableau 2. Zone en semis direct par continent -----	19
Tableau 3. Séquestration du carbone, extraits de diverses études scientifiques-----	28
Tableau 4. Evolution de la production mondiale du blé entre 2012 et 2014 (million de tonnes). ---	31
Tableau 5. Pays importateurs du blé en Afrique du nord (million de tonnes)-----	32
Tableau 6. Principaux pays exportateurs du blé dans le monde (million de tonnes)-----	32
Tableau 7. Caractéristiques physico-chimiques du sol des parcelles expérimentales. -----	40
Tableau 8. Caractéristiques agronomiques de la variété Aïn Abid. -----	43
Tableau 9. Paramètres du semis pour les deux campagnes de production du blé.-----	45
Tableau 10. Evolution des précipitations et des températures moyennes durant le cycle de la plante (campagne 1)-----	56
Tableau 11. Evolution des précipitations et des températures moyennes durant le cycle de la plante (campagne 2)-----	57
Tableau 12. Conductivité électrique - CE (dS.m ⁻¹)-----	97
Tableau 13. Potentiel d'hydrogène - pH-----	97
Tableau 14. Calcaire total - CaCO ₃ (%) -----	97
Tableau 15. Taux de la matière organique du sol - MOS (%) -----	97
Tableau 16. Date de levée des deux culture (JAS) -----	97
Tableau 17. Date de d'épiaison de blé et de floraison du petit pois (JAS)-----	97
Tableau 18. Date de maturité des deux culture (JAS)-----	98
Tableau 19. Biomasse végétale (t.ha ⁻¹) -----	98
Tableau 20. Taux de la matière sèche (%) -----	98
Tableau 21. Nombre de plants par m ² -----	98
Tableau 22. Nombre de talles et de ramifications par m ² -----	98
Tableau 23. Nombre d'épis et de gousses par m ² -----	98
Tableau 24. Nombre de grains par épis et par gousse-----	98
Tableau 25. Poids de milles grains (g) -----	99
Tableau 26. Rendement grains (Qx.ha ⁻¹) -----	99
Tableau 27. Rendement paille (Qx.ha ⁻¹)-----	99

Liste des figures

Figure 1. Constituants formant un sol et quelques exemples d'interactions entre les différents constituants-----	6
Figure 2. Les différents horizons du sol -----	7
Figure 3. Cycle du carbone -----	13
Figure 4. Système de culture du cotonnier sur couverture morte -----	21
Figure 5. Système de culture de maïs sur couverture vivante -----	22
Figure 6. Semis direct de blé sous un mélange de couverts -----	22
Figure 7. Effet du semis direct sur le sol-----	23
Figure 8. Effet des couvertures des sols au niveau de la parcelle -----	25
Figure 9. Grands pays exportateurs et importateurs du blé au monde -----	32
Figure 10. Pois potager-----	37
Figure 11. Situation géographique du site expérimental de mazagran (Mostaganem)-----	39
Figure 12. Diagramme ombrothermique de la campagne 1 -----	41
Figure 13. Diagramme ombrothermique de la campagne 2 -----	41
Figure 14. Charrue tri-disques (à gauche) et Cover-crop 8/16 (à droite) utilisés. -----	42
Figure 15. Vue sur l'opération de semis pour le LC (à gauche) et pour le SD (à droite). -----	42
Figure 16. Désherbage chimique. -----	42
Figure 17. Vue sur les tests de faculté germinative du blé tendre et du petit pois. -----	43
Figure 18. Schéma du dispositif expérimental utilisé pour la première campagne (à gauche) et pour la seconde campagne (à droite) – B : Blé tendre, P : petit pois – B I, B II, B III : Blocs.-----	44
Figure 19. Vues aériennes sur les deux formes du dispositif expérimental, première campagne (à gauche en pleine production) et seconde campagne (à droite après la moisson ; les trois parcelles ajoutées apparaissent en couleur blanche).-----	45
Figure 20. Semis manuel en ligne (campagne 1). -----	46
Figure 21. Parcelles du SD couvertes par la paille d'orge (campagne 1).-----	46
Figure 22. Conductivité électrique pour les deux systèmes de culture LC et SD. -----	51
Figure 23. pH pour les deux systèmes de culture LC et SD. -----	52
Figure 24. Calcaire total (%) pour les deux systèmes de culture LC et SD. -----	52
Figure 25. Taux de matière organique du sol (MOS) pour les deux systèmes de culture LC et SD. -----	53
Figure 26. Courbes d'évolution de l'humidité du sol au cours du cycle végétatif de la culture de blé durant les deux campagnes. -----	54
Figure 27. Courbe d'évolution de l'humidité du sol au cours du cycle végétatif de la culture de petit pois (campagne 2).-----	55
Figure 28. Indice d'eau en % [$I_e = 100 (HSD - HLC)$] du sol durant la campagne 1 du blé.-----	56
Figure 29. Indice d'eau en % [$I_e = 100 (HSD - HLC)$] du sol durant la campagne 2 du blé.-----	56
Figure 30. Indice d'eau en % [$I_e = 100 (HSD - HLC)$] du sol durant la campagne 2 du petit pois. -----	57
Figure 31. Date de levée du blé et du petit pois pour les deux systèmes de culture LC et SD. -----	58
Figure 32. Dates d'épiaison du blé et du petit pois pour les deux systèmes de culture LC et SD. --	59
Figure 33. Date de maturation du blé et du petit pois pour les deux systèmes de culture LC et SD. -----	59
Figure 34. Evolution de la hauteur des plants entre les deux systèmes de culture LC et SD : (a) blé campagne 1, (b) blé campagne 2 et (c) petit pois. -----	60
Figure 35. Surface foliaire pour les deux systèmes de culture LC et SD : (a) blé campagne 1, (b) blé campagne 2 et (c) petit pois. -----	61
Figure 36. Biomasse végétale du blé et du petit pois pour les deux systèmes de culture LC et SD. -----	62
Figure 37. Matière sèche du blé et du petit pois pour les deux systèmes de culture LC et SD. -----	62

Figure 38. Evolution de la RWC entre les deux systèmes de culture LC et SD : (a) blé campagne 1, (b) blé campagne 2 et (c) petit pois. -----	63
Figure 39. Nombre de plt.m ⁻² du blé et du petit pois pour les deux systèmes de culture LC et SD. -----	64
Figure 40. Nombre de talles.m ⁻² du blé et ramifications.m ⁻² du petit pois pour les deux systèmes de culture LC et SD. -----	64
Figure 41. Nombre d'ép.m ⁻² du blé et de gouss.m ⁻² du petit pois pour les deux systèmes de culture LC et SD. -----	65
Figure 42. Nombre de grai.épi ⁻¹ du blé et grai.gouss ⁻¹ du petit pois pour les deux systèmes de -----	66
Figure 43. Poids de mille grains du blé et du petit pois pour les deux systèmes de culture LC et SD. -----	66
Figure 44. Rendement en grain du blé et du petit pois pour les deux systèmes de culture LC et SD. -----	67
Figure 45. Rendement en paille du blé et du petit pois pour les deux systèmes de culture LC et SD. -----	67
Figure 46. Vue sur les parcelles expérimentales menées en LC (campagne 1). -----	72
Figure 47. Système racinaire des plants de blé tendre (campagne 2). -----	75
Figure 48. Système racinaire du petit pois en SD et en LC durant la seconde campagne. -----	76
Figure 49. Taille des grains du blé pour les deux conduites en SD et en LC. -----	78
Figure 50. La levée en LC (campagne 1) -----	100
Figure 51. La levée en SD (campagne 1) -----	100
Figure 52. La levée en LC (campagne 2) -----	100
Figure 53. La levée en SD (campagne 2) -----	100
Figure 54. Tallage en LC (campagne 1) -----	101
Figure 55. Tallage en SD (campagne 1) -----	101
Figure 56. Tallage en LC (campagne 2) -----	101
Figure 57. Tallage en SD (campagne 2) -----	101
Figure 58. Tallage du blé en SD (campagne 1) -----	102
Figure 59. Tallage du blé en LC (campagne 1) -----	102
Figure 60. Tallage du blé en SD (campagne 2) -----	102
Figure 61. Tallage du blé en LC (campagne 2) -----	102
Figure 62. Montaison en LC (campagne 1) -----	103
Figure 63. Montaison en SD (campagne 1) -----	103
Figure 64. Montaison en LC (campagne 2) -----	103
Figure 65. Montaison en SD (campagne 2) -----	103
Figure 66. Epiaison en LC (campagne 1) -----	104
Figure 67. Epiaison en SD (campagne 1) -----	104
Figure 68. Epiaison en LC (campagne 2) -----	104
Figure 69. Epiaison en SD (campagne 2) -----	104
Figure 70. Maturité en LC (campagne 1) -----	105
Figure 71. Maturité en SD (campagne 1) -----	105
Figure 72. Maturité du blé en LC (campagne 2) -----	105
Figure 73. Maturité du blé en SD (campagne 2) -----	105
Figure 74. La levée du pois en LC (campagne 2) -----	106
Figure 75. La levée du pois en SD (campagne 2) -----	106
Figure 76. Floraison du pois en LC (campagne 2) -----	106
Figure 77. Floraison du pois en SD (campagne 2) -----	106

Figure 78. Plants de pois en pleine production en LC (campagne 2)	-----107
Figure 79. Plants de pois en pleine production en SD (campagne 2)	-----107

Liste des annexes

Annexe I. Tableaux d'analyses de variances -----	97
Annexe II. Photos des expérimentations réalisées au niveau de l'atelier de Mazagran – Mostaganem entre 2012/2014. -----	100
Annexe III. Matrices des corrélations -----	108

Liste des abréviations

AC : Agriculture de Conservation

Acre : Unité de surface égale à 0,4 hectare ou à 4046,9 mètres carrés

ann : Annexe

APS : Algérie Presse Service

B : Blé

Bilan de C en t (C/ha/an) : bilan de carbon en tonne par hectare par an

C : carbone

cm : centimètre

CNIS : Centre national de l'informatique et des statistiques

CV : Chevaux

da_{LC} : densité apparente des parcelles conduites en labour conventionnel

da_{SD} : densité apparente des parcelles conduites en semis direct

dS.m⁻¹ : décisiemens par mètre

EA : Exploitation agricole

F : fusarium

fig : figure

gouss : gousse

grai : grain

Ie : Indice d'eau

INSID : Institut National des Sols, d'Irrigation et de Drainage

JAS : jour après semis

K : potassium

K₂O : oxyde de potassium

kg.q⁻¹ : kilogramme par quintal

LC : Labour conventionnel

l.ha⁻¹ : litre par hectare

Md \$us : Milliard de dollars américain

Mha : Million d'hectare

m : mètre

ml.l⁻¹ : mole par litre

Mmol : millimole

Mol : mole

MOP : Matière Organique Particulaire

MOS : Matière Organique du Sol

Mt : million tonnes

OAIC : Office Algérien Interprofessionnel des Céréales

P : Pisum

P : Pois

P : Probabilité

P : phosphore

P₂O₅ : pentoxyde de phosphore ou acide phosphorique

PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement

Préci (mm) : précipitation en millimètre

Qx.ha⁻¹ : Quintaux par hectare

SAU : Surface Agricole Utile

SCV : Sous couvert végétal

SD : Semis direct

SDHI : (Succinate dehydrogenase inhibitor) Inhibiteurs de la Succinate Déshydrogénase

T° Moy (°C) : température moyenne en degré celsius

tab : tableau

tal.plt⁻¹ : talle par plant

TC : Travail conventionnel

TCS : Techniques Culturelles Simplifiées

µm : micromètre

Unité de surface : 1 m²

USD : United States Dollars

Table des matières

<i>Remerciements</i>	<i>i</i>
<i>Dédicaces</i>	<i>iii</i>
<i>المخلص</i>	<i>iv</i>
<i>Liste des tableaux</i>	<i>vii</i>
<i>Liste des figures</i>	<i>viii</i>
<i>Liste des annexes</i>	<i>xi</i>
<i>Liste des abréviations</i>	<i>xii</i>
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1

Première partie – Synthèse bibliographique

CHAPITRE I – PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES DU SOL	3
I.1 - Introduction	3
I.2 - Le sol un milieu complexe	3
I.2.1 - Définitions scientifiques du sol	3
I.2.2 - Caractéristiques générales des phases du sol	5
I.2.3 - Qualité des sols	7
I.2.4 - Principales menaces pesant sur les sols	8
I.2.5 - Acidification des sols	9
I.2.6 - Propriétés physiques du sol	9
I.2.7 - Propriétés chimiques du sol	11
I.2.8 - Propriétés biologiques du sol	12
I.2.9 - Matière organique	12
CHAPITRE II – LABOUR CONVENTIONNEL	14
II.1 - Introduction	14
II.2 - Principaux avantages du labour conventionnel	14
II.3 - Principaux inconvénients du labour conventionnel	14
II.4 - Différents types de travail du sol	15
II.4.1 - Labour	15
II.4.2 - Pseudo-labour	15
II.4.3 - Décompactage	16
II.4.4 - Sous-solage	16
II.4.5 - Travail superficiel	17
CHAPITRE III – SEMIS DIRECT	18
III.1 - Introduction	18
III.2 - Historique et objectifs actuels du semis direct	18
III.3 - Définition du semis direct	20
III.4 - Associer une plante de service à une culture de rente	21

III.4.1 - Systèmes avec couverture morte	21
III.4.2 - Systèmes avec couverture vivante	21
III.4.3 - Systèmes à vocation mixte	22
III.5 - Couverture permanente du sol	23
III.6 - Principaux avantages et intérêts du semis direct	23
III.6.1 - Aspects agronomiques	23
III.6.2 - Aspects environnementaux	24
III.6.3 - Aspects techniques	24
III.6.4 - Aspects socio-économiques	24
III.7 - Inconvénients du semis direct	24
III.8 - Effets du semis direct sur les propriétés physiques du sol	26
III.8.1 - Sur la structure du sol	26
III.8.2 - Sur la densité apparente du sol	27
III.8.3 - Sur la porosité du sol	27
III.9 - Effets du semis direct sur les propriétés chimiques	27
III.9.1 - Teneurs et stocks en C et N	27
III.9.2 - Fractions granulométriques de la matière organique du sol	28
III.9.3 - Effet sur les autres éléments nutritifs	29
III.10 - Effets du semis direct sur les propriétés biologiques du sol	29
III.10.1 - Effet sur la matière organique du sol	29
III.10.2 - Effet sur les macro-organismes	29
III.10.3 - Effet sur les mauvaises herbes	29
CHAPITRE IV – BLÉ, ASSOLEMENT ET ROTATION ET PETIT POIS	31
IV.1 - Blé	31
IV.1.1 - Introduction	31
IV.1.2 - Importance du blé dans le monde et en Algérie	31
IV.1.2.1 - Production	31
IV.2 - Assolement et rotation	33
IV.2.1 - Assolement	33
IV.2.1.1 - Définitions	33
IV.2.1.2 - Quelques types d'assolement	33
IV.2.2 - Rotation	33
IV.2.2.1 - Définition	33
IV.2.2.2 - Avantages	34
IV.2.2.3 - Inconvénients d'un manque de rotation	36
IV.3 - Culture de rotation (Petit pois)	36
IV.3.1 - Botanique et écophysiologie	36
IV.3.1.1 - Caractères botaniques	36

Deuxième partie – Etude expérimentale

CHAPITRE V – MATERIEL ET MÉTHODES	39
--	-----------

V.1 - Matériel	39
V.1.1 - Site expérimental	39
V.1.2 - Paramètres pédoclimatiques du site	40
V.1.3 - Matériel de travail du sol, semis et traitement	41
V.1.4 - Matériel végétal	43
V.2 - Méthodes	44
V.2.1 - Dispositif expérimental	44
V.2.2 - Labour	45
V.1.3 - Semis	45
V.1.4 - Fertilisation	46
V.1.5 - Désherbage	47
V.1.6 - Récolte	47
V.3 - Méthodes d'analyses	47
V.3.1 - Paramètres physico-chimiques du sol	47
V.3.1.1 - Humidité du sol (H%)	47
V.3.1.2 - Conductivité électrique (CE)	47
V.3.1.3 - Potentiel d'hydrogène (pH)	48
V.3.1.4 - Calcaire total (CaCO ₃ %)	48
V.3.1.5 - Taux de matière organique (MO)	48
V.3.2 - Paramètres morpho-physiologiques du matériel végétal	48
V.3.2.1 - Stades phénologiques	48
V.3.3 - Paramètres morphologiques	48
V.3.4 - Composantes du rendement	49
V.4 - Analyse statistique	50
CHAPITRE VI – EFFETS DU LABOUR CONVENTIONNEL ET DU SEMIS	51
<i>DIRECT SUR LES PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES ET HYDRIQUES D'UN SOL DU PLATEAU DE MOSTAGANEM</i>	51
VI.1 - Conductivité électrique (CE)	51
VI.2 - Potentiel d'hydrogène (pH)	51
VI.3 - Calcaire total (CaCO₃%)	52
VI.4 - Matière organique du sol (MOS)	53
VI.5 - Humidité du sol (H%)	53
VI.6 - Evolution de l'indice de l'eau	55
<i>CHAPITRE VII – EFFETS DU LC ET DU SD SUR LES PROPRIÉTÉS ECOPHYSIOLOGIQUES DU BLE TENDRE ET DU PETIT POIS</i>	58
VII.1 - Paramètres phénologiques	58
VII.1.1 - Date de levée	58
VII.1.2 - Dates d'épiaison (blé) et de floraison (petit pois)	58
VII.1.3 - Date de maturité	59
VII.2 - Paramètres morpho-physiologiques	60
VII.2.1 - Hauteur des plants	60

VII.2.2 - Surface foliaire -----	61
VII.2.3 - Biomasse végétale-----	62
VII.2.4 - Taux de matière sèche -----	62
VII.2.5 - Evolution de la teneur relative en eau (RWC)-----	63
VII.3 - Composantes du rendement -----	64
VII.3.1 - Nombre de plants par m ² -----	64
VII.3.2 - Nombre de talles et ramifications par m ² -----	64
VII.3.3 - Nombre d'épis et de gousses par m ² -----	65
VII.3.4 - Nombre de grain par épi et par gousse-----	65
VII.3.5 - Poids de mille grains (PMG) -----	66
VII.3.6 - Rendement en grains-----	67
VII.3.7 - Rendement paille -----	67
CHAPITRE VIII – SYNTHÈSE DES DISCUSSIONS -----	69
VIII.1 - Effets du labour conventionnel et du semis direct sur les propriétés physico-chimiques du sol -----	69
VIII.2 - Effets du labour conventionnel et du semis direct sur les paramètres phénologiques des cultures -----	71
VIII.3 - Impact du LC et du SD sur les paramètres morpho-physiologiques des cultures---	73
VIII.4 - Influence du LC et du SD sur les composantes du rendement -----	77
CONCLUSION -----	81
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES -----	83
Annexes -----	97

INTRODUCTION



INTRODUCTION GÉNÉRALE

En Algérie, la sécurité alimentaire de la population dépend en grande partie des céréales dont principalement le blé. La production de ce dernier est principalement liée aux variations pluviométriques locales et interannuelles défavorables au rendement (Bousba, 2012). En effet, les chutes de rendement peuvent atteindre 50% d'année en année (Chehat, 2007). Durant les cinquante dernières années, le rendement moyen du blé en Algérie est estimé à près de 8,6 Qx.ha⁻¹ (FAOSTAT, 2013).

La production des céréales ne contribue qu'à 20% des besoins en consommation nationale. La différence est donc comblée par des importations massives qui peuvent pour certaines années s'élever à 80% des besoins nationaux (Bousba, 2012). L'écart important entre le niveau actuel de la consommation et celui de la production conduit à un accroissement des importations. Pour l'année 2018, durant les huit premiers mois, le montant des importations en produits alimentaires s'élève à 5,9 milliards USD, ce qui correspond à 19,4% du volume global des importations et dont 2,2 milliards USD sont réservés aux céréales (CNTSID, 2018).

Vu l'importance du blé dans la filière des céréales, tant sur le plan économique qu'humain, il occupe près de 60% des superficies céréalères emblavées, soit l'équivalent de 45% de la surface agricole utile (SAU). Les céréales occupent actuellement près de 3,5 millions d'hectares selon l'OAIC (Office Algérien Interprofessionnel des Céréales)¹.

Par rapport aux conditions climatiques du pays, l'eau constitue le principal facteur limitant de la production, il est donc important de penser à accroître le pouvoir de rétention en eau du sol en diminuant son évaporation tout en veillant à une gestion adéquate du travail du sol, du précédent cultural, de la fertilisation et du contrôle des plantes adventices (Cooper *et al.*, 1987). Dans ce cadre, le semis direct est présenté comme un système avantageux qui réduit, à long terme, les effets du déficit hydrique et les charges de mise en place de la culture. En plus, il protège le sol en gardant les résidus de récoltes, conserve l'humidité en diminuant l'évaporation et accroît la matière organique du sol (Mrabet, 2011). Ainsi, la capacité de stockage en eau et en éléments nutritifs du sol est améliorée (Hannachi et Fellahi, 2010 et Chennafi *et al.*, 2011).

Le présent travail s'insère dans une approche comparative des effets du semis direct et du labour conventionnel sur le comportement de blé tendre dans les conditions semi-arides du plateau de Mostaganem (nord-ouest d'Algérie). L'étude se base sur les paramètres morpho-phénologiques, physiologiques, ainsi que les composantes du rendement pour la plante et les propriétés physico-chimiques et hydriques du sol.

¹ Chiffre rapporté par Algérie-éco, 2018.



Le document est structuré en deux parties : la première est une synthèse bibliographique et la seconde est consacrée à la présentation des essais effectués dans le cadre de la présente thèse et leurs résultats et discussions. La première partie comporte quatre chapitres. Le premier chapitre est consacré aux propriétés physico-chimiques et biologiques du sol, le second chapitre met en relief la technique de labour conventionnel et son impact sur les propriétés de résilience du sol. Le troisième chapitre traite la technique de semis direct et ses effets sur les propriétés biologiques du sol et enfin le quatrième chapitre est consacré à la présentation de la culture de blé et son importance sur les plans alimentaire et économique. La seconde partie, consacrée au travail expérimental, est organisée autour de quatre chapitres : le premier destiné à la présentation du matériel et des méthodes utilisés dans les essais réalisés dans le cadre de cette thèse. Le deuxième chapitre est consacré à la présentation et la discussion des résultats des effets du labour conventionnel et du semis direct sur les propriétés physico-chimiques et hydriques du sol du site d'expérimentation. Dans le chapitre suivant sont discutés les résultats des effets des deux systèmes de culture (labour conventionnel et semis direct) sur les caractéristiques morphométriques et écophysiologicals de la culture étudiée (blé tendre). Enfin, le dernier chapitre fait l'objet d'une discussion synthèse de tous les résultats afin d'aboutir à une conclusion qui termine la deuxième partie de ce travail.

PREMIÈRE PARTIE
SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I – PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES DU SOL

I.1 - Introduction

Depuis le développement de notre civilisation, il y a moins de 10000 ans AV-JC, la fonction principale des sols a été la production agricole pour la fourniture alimentaire de l'humanité le dit Robert (2005).

Il faut environ 100000 ans pour former un sol rouge méditerranéen de 1 m d'épaisseur. Cette durée et les variations climatiques en font une ressource non renouvelable à l'échelle humaine (IFEN, 1998). Si la formation du sol est un processus lent, la dégradation des terres cultivables, est en revanche un processus rapide. La ressource en sol ne représente que 22% des terres émergées (3300 millions d'hectares dont 1800 millions d'hectares non cultivés, en réserve). Les pertes annuelles de ce capital sont estimées entre 12 et 16 millions d'hectares seulement sur la période 1975-2000 soit 400 millions d'hectares d'ici 2015 (Robert et Cheverry, 2009).

De son côté Tessier (2009) montre que les sols se dégradent, les causes sont multiples et connues depuis plusieurs décennies : imperméabilisation, dégradation physique (érosion, tassement), chimique (acidification), biologique (perte de biodiversité) ...etc.

I.2 - Le sol un milieu complexe

I.2.1 - Définitions scientifiques du sol

Scientifiquement le sol est défini de plusieurs façons. Il l'est conceptuellement par les sciences de la vie comme « un système écologique dynamique ». Il l'est également de manière fonctionnelle par ces mêmes sciences (Gobat *et al.*, 2003).

❖ La définition fonctionnelle du sol

D'après plusieurs auteurs Aubert (1989) ; Stengel et Gelin (1998), les sciences du sol considèrent désormais que le sol est un milieu naturel dynamique qui assure, au sein de la biosphère, des rôles divers tant dans le développement biologique de la nature que dans le développement économique de l'homme. Il est multifonctionnel. Duchaufour (1997) rappelle que les spécialistes de ces sciences s'accordent pour diviser ces fonctions en deux catégories principales, qui sont les fonctions écologiques et les fonctions économiques du sol. Ces dernières correspondent aux capacités du sol à assurer et à supporter les activités humaines. D'abord, le sol est la surface du globe qui sert d'assise, d'une part, aux infrastructures construites par l'homme (routes, habitations, industries...) et, d'autre part, aux cultures agricoles et forestières qui constituent un facteur de développement économique. Il joue par conséquent un rôle prépondérant dans la production alimentaire puisqu'il est la source de la vie végétale. En outre, le sol et plus précisément les matériaux et minerais qu'il contient ont des ressources naturelles, des biens exploitables et exploités pour leur valeur marchande. En parallèle à ces fonctions

économiques, le sol remplit plusieurs fonctions écologiques. Il s'agit d'abord de son rôle de production de biomasse, c'est-à-dire que le sol est le substrat physique nécessaire à la vie végétale et animale. Il contient les éléments nutritifs nécessaires à la croissance des plantes, dont la présence et la quantité varient notamment en fonction du type de sol sur lequel on se situe et témoignent de sa qualité biologique. Pour Gobat *et al.*, (2003), la fertilité du sol est un élément essentiel pour la production végétale ; la capacité du sol à assurer cette fonction permet de vérifier si son état chimique et biologique est détérioré ou non. Si cette fonction n'est plus assurée correctement, c'est que le sol est dégradé ou pollué.

❖ Définition agronomique

La définition agronomique courante du sol cultivé désigne ainsi la partie de la croûte terrestre où se situent pour l'essentiel les interventions culturelles de l'homme, soit directes par les instruments aratoires, les apports d'engrais et les traitements divers, soit indirectes par les racines des plantes cultivées. Le sol est agronomiquement caractérisé par son « profil cultural » comme la montre Raven *et al.*, (2009). Selon l'expression retenue par Gras *et al.*, (1969) et dont ils ont donné une définition souvent citée : « il faut entendre par « profil cultural » l'ensemble constitué par la succession des couches de terre, individualisées par l'intervention des instruments de culture, les racines de végétaux et les facteurs naturels réagissant à ces actions ».

Lemanceau et Heulin, (1998) signalent que le principal objet d'étude des agronomes au sol, en tant que zone travaillée par les instruments aratoires, est le support des cultures. Son potentiel de production se traduit par la notion de fertilité, variable en fonction de ses caractéristiques intrinsèques mais aussi des apports extérieurs (fertilisation, amendements minéraux ou organiques, traitements phytosanitaires), des améliorations foncières (drainage, irrigation, sous-solage) ou des techniques culturales appropriées aux modes de cultures envisagés (labours, et façons aratoires diverses dont les récentes « techniques culturales simplifiées » (TCS).

❖ Définition pédologique

Stengel et Gelin (1998) montrent que le sol est la partie superficielle de l'écorce terrestre fortement soumise à l'action des agents climatiques et biologiques. Les sols proviennent de l'altération et de la transformation des roches sous l'action de la vie, de l'atmosphère et des échanges d'énergie qui s'y manifestent (Barles *et al.*, 1999). C'est un milieu poreux, triphasique et organisé, composé de trois phases inertes respectivement solide, liquide et gazeuse. Les proportions entre ces différentes phases peuvent varier dans le temps. Aux trois phases inertes s'ajoutent un compartiment vivant. Ces quatre compartiments interagissent entre eux et sont le siège de nombreuses réactions bio-physico-chimiques.

I.2.2 - Caractéristiques générales des phases du sol

❖ La phase solide du sol

Représente de la moitié aux deux tiers du volume du sol. Elle est constituée à plus de 90% de minéraux inorganiques primaires (quartz, feldspath...) et secondaires (kaolinite, goethite...). La matière organique, représentant de 0,5 à 10% du sol, est un mélange complexe de constituants en décomposition, solubles ou insolubles, provenant principalement des plantes, animaux et microorganismes. Cette matière organique est importante biologiquement (source d'énergie pour les organismes vivants...), chimiquement (sorption, complexations, adsorption de cations...) et physiquement (stabilité du sol) (Sposito, 1989).

❖ La phase liquide du sol

La phase liquide du sol n'est pas de l'eau pure mais est une solution dont la composition est complexe et très variable. On la désigne souvent par l'expression « solution du sol ». Elle contient de très nombreuses substances dissoutes organiques et inorganiques, ionisées et non ionisées, dans la nature et la concentration dépendent de plusieurs phénomènes. Certains entraînent une augmentation des concentrations et sont appelés des phénomènes sources, d'autres au contraire, entraînent une diminution des concentrations et sont appelés des phénomènes puits.

D'une façon générale, la solution du sol est déficelée à décrire et à étudier en raison de sa très grande variabilité spatiale et temporelle de sorte qu'il n'existe pas de composition type. On peut cependant donner quelques indications générales en distinguant deux grandes catégories de solutés comme le montre Sposito (1989).

- Les micro-éléments dont la concentration est inférieure à 1 mmol.m^{-3} ($10^{-6} \text{ mol.l}^{-1}$) ; beaucoup d'éléments traces métalliques entrent dans cette catégorie.
- Les macro-éléments dont la concentration est supérieure à cette limite ; les éléments les plus fréquents et les espèces chimiques correspondantes sont : C (CHCO_3^-), N (NO_3^-), Na (Na^+), Mg (Mg^{2+}), Si (Si (OH)_4), S (SO_4^{2-}), Cl (Cl^-), K (K^+), Ca (Ca^{2+} et O_2).

❖ La phase gazeuse du sol

Sposito (1989) explique que cette phase occupe les pores du sol non envahis par la phase liquide. L'atmosphère du sol contient généralement de 18 à 20% d' O_2 , mais la teneur en O_2 peut chuter à 2% voire 0% au voisinage des racines, de résidus organiques en décomposition, au cœur d'agrégats ou de mottes saturées en eau, ou en profondeur dans le sol. La teneur en CO_2 peut varier de 0,3 à 5% et peut atteindre et dépasser les 20% dans certains cas (voisinage de racines ou source importante de matière organique). L'atmosphère du sol contient toujours aussi N_2 , H_2O vapeur et Air, mais elle contient aussi très souvent d'autres gaz produits et/ou consommés biologiquement : NO, N_2O , NH_3 , H_2 ou CH_4 .

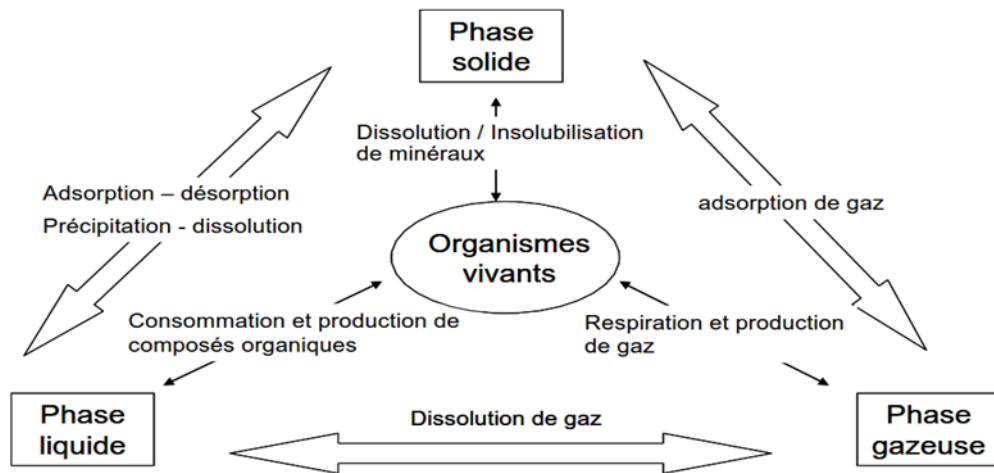


Figure 1. Constituants formant un sol et quelques exemples d'interactions entre les différents constituants (Calvet, 2003).

C. Les horizons du sol

❖ Horizon O (ou A0)

Cet horizon est organique (riche en humus) et comporte des débris végétaux qui sont partiellement décomposés et pratiquement non reconnaissables sur le terrain. Il contient 30% de matière organique (Baize et Girard, 2009 ; Bobin *et al.*, 2012).

❖ Horizon A

L'horizon A est un de surface, il contient de la matière organique, mais il est souvent appauvri en colloïdes (argile), en fer et en chaux par lessivage. Les sols cultivés n'ont d'horizon A différencier, (Doucet, 2006).

❖ Horizon B

Selon plusieurs auteurs Baize et Girard, (2009) ; Bobin *et al.*, (2012) expliquent que l'horizon B est enrichi en divers constituants, suivant les cas : argile, fer, matière organique, carbonate de calcium, etc. Ces constituants proviennent en majorité du lessivage par les eaux de percolation (eaux de pluies, irrigation) des horizons sus-jacents et en particulier de l'horizon O. Il est distingué par sa couleur, sa structure, la nature de ses constituants, sa granulométrie.

❖ Horizon C

Il résulte de l'altération de la roche mère, composé de matériau parental à partir duquel les horizons A et B se sont formés. Ils ont un degré d'altération limité et peuvent être modifiés par la présence d'une nappe d'eau souterraine, l'accumulation de carbonates ou de sels solubles (Duchaufour, 1995).

❖ Horizon R

Plusieurs auteurs Bobin *et al.*, (2012) signalent que l'horizon R correspond à la roche-mère dure (granite, calcaire, grès...).

Tous les sols n'ont pas forcément la même organisation. Certains horizons peuvent être plus ou moins importants, certains peuvent être absents. Il existe ainsi des sols peu évolués, peu épais, et peu structurés en horizons. Les sols plus évolués sont composés de plus d'horizons et sont plus épais. Les pédologues distinguent ainsi plusieurs types de sols qui reflètent des stades évolutifs différents.

La différenciation d'un sol ne dépend pas de son âge : des sols peu différenciés peuvent être plus anciens que des sols récents et très différenciés. Par exemple, les sols calcaires ont peu d'horizons et certains facteurs, comme une forte pente, peuvent favoriser l'érosion et bloquer la différenciation des sols.

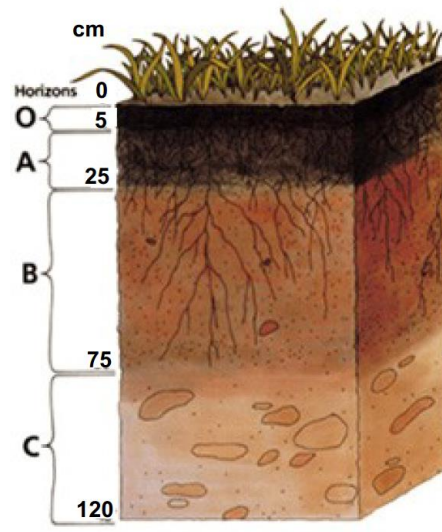


Figure 2. Les différents horizons du sol (Bobin *et al.*, 2012).

I.2.3 - Qualité des sols

De nombreux travaux concernant actuellement la qualité des sols (Doran *et al.*, 1996) qui est souvent considérée comme synonyme de santé des sols (soil health). Pendant longtemps, la qualité des sols a été évaluée par une aptitude du sol au bon développement des végétaux, en particulier les végétaux cultivés, ce qui se traduit par une bonne aptitude à la production agricole. Plus récemment, la qualité des sols a été étendue à la capacité d'exercer diverses fonctions. En conséquence, il faudrait définir des qualités pour chacune des fonctions agronomiques, environnementales ou écologiques, etc. dans la recherche d'indicateurs pour l'évaluation et le suivi des variations de la qualité des sols, en se référant toujours aux trois types de fonctionnement physique, chimique et biologique.

I.2.4 - Principales menaces pesant sur les sols

Vu le large éventail de fonctions essentielles du sol, il est crucial, pour garantir la durabilité, d'assurer la conservation de l'état du sol. Or, le sol est sous la menace croissante d'une vaste gamme d'activités humaines qui réduisent sa disponibilité et sa viabilité à long terme.

A. Changement climatique

Le changement climatique global qui s'est accentué au cours de la deuxième moitié du 20^{ème} siècle représente à la fois la menace la plus importante du 21^{ème} siècle et un enjeu considérable pour la société. Il s'est déjà traduit par une augmentation moyenne de température de 0,6 °C pendant la deuxième moitié du XX^e siècle et le phénomène devrait s'accroître au cours XXI^e siècle. Il va être important à la fois de lutter contre la cause principale, le croisement des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, et de prévenir les effets indésirables ou de s'y adapter (IPCC, 2001).

B. Erosion des sols

L'érosion est un phénomène de déplacement des matériaux à la surface des sols sous l'action de l'eau, du vent, de l'homme ou simplement de la gravité. Elle causerait annuellement une perte de 25 milliards de tonne de sol comme le montrent Brown et Wolf (1984) (tab 1). De son côté Roose (1996), l'érosion limite la disponibilité en terres cultivables.

Tableau 1. Surfaces affectées au niveau mondial par les quatre processus majeurs de dégradation des sols (en millions d'hectares) (Oldeman *et al.*, 1991).

	Erosion par l'eau	Erosion par le vent	Dégradation chimique	Dégradation physique	Total
Afrique	170	98	36	17	321
Asie	315	90	41	6	452
Amérique du sud	77	16	44	1	138
Amérique du nord et du centre	90	37	7	5	139
Europe	93	39	18	8	158
Australie	3		1	2	6
Total	748	280	147	39	1214

Elle contribue à la dégradation des terres et des eaux : abrasion progressive de la couverture pédologique, diminution de la fertilité des terres, entraînement des polluants véhiculés par les fractions colloïdales et particules de terre, en particulier phosphore, pesticides, métaux,...c'est un problème étudié depuis longtemps dans les régions tropicales, méditerranéennes ou de montagne, caractérisées, soit par l'agressivité de leurs climat, soit par leurs fortes pentes, soit par des couverts végétaux à faible recouvrement du sol (vignobles, vergers,...) ou dégradés (désertification, défrichement,...).

I.2.5 - Acidification des sols

Guérol *et al*, 2000 expliquent que l'acidification des sols est un processus naturel qui touche la plupart des régions du globe, qu'elles soient chaudes ou froides. Elle résulte pour l'essentiel du fonctionnement des cycles biogéochimiques des éléments C, N, S, P et H₂O, cycle dans lesquels l'homme intervient par ses pratiques de gestion des écosystèmes. L'acidification est l'un des mécanismes à l'origine de la formation des sols ; mais elle peut conduire, sur le long terme, à une quasi stérilisation des écosystèmes en raison en particulier de la présence d'ions aluminium défavorable pour le développement de nombreuses espèces vivantes.

A. Salinisation

C'est un phénomène commun dans les régions semi-arides. Elle se manifeste quand le sodium présent dans le solonetz, des sols salins noirs, remonte avec l'eau par capillarité et remplace le calcium. Cette efflorescence des sels entraîne la formation de carbonate de sodium, ce qui alcalinise le sol.

Quand le pH dépasse la valeur 10, l'argile s'accumule dans un horizon compact en raison de la dispersion des agrégats d'argile ; la structure de l'humus est alors détruite. De plus, une irrigation minimale des solonetz favorise ce phénomène ; au contraire, un apport excessif d'eau est nécessaire pour la seule croissance des cultures. En effet, un bon drainage est essentiel, car il faut lessiver les sels pour éviter leurs accumulations en surface du sol (Doucet, 2006).

B. Risques liés aux modifications de la couverture végétale

D'après Pomel (2008), la cartographie multichronique de la couverture végétale et surtout la couverture qu'elle assure au niveau du sol, est un paramètre fondamental de l'étude des risques d'érosion hydrique. Il est possible d'établir une cartographie à partir des couvertures aériennes depuis 1945-1950, de la couverture LANDSAT depuis 1970 et de la couverture SPOT depuis 1990. L'intérêt de cette cartographie est qu'elle permet une étude multichronique depuis plus de 50 ans, avec des définitions qui vont de 1 m à 1 Km. Il est important de signaler que la fiabilité de la cartographie dépend étroitement de la validité des référentiels-terrain qui fondent la classification de la couverture végétale.

I.2.6 - Propriétés physiques du sol

❖ Texture

On entend par texture la dimension des particules d'un sol, ou mieux, les proportions en poids centésimal des différentes particules d'un même sol.

La texture d'un sol exerce une grande influence sur les autres propriétés physiques de ce sol, de même que sur ses propriétés chimiques et son adaptation économique aux différentes cultures. Aussi est-il important de bien la connaître pour pouvoir déterminer le traitement qui convient à ce sol et y implanter les cultures qui peuvent le mieux y réussir (Doucet, 2006).

Dans la pratique, on partage tous les sols minéraux arables en trois grandes fractions minérales selon la grosseur de leurs particules.

- ✓ le sable, dont les particules grossières sont le principal constituant des sols légers.
- ✓ le limon, dont les particules moyennes prédominent dans les sols francs ou loams (limons).
- ✓ l'argile, dont les particules fines caractérisent les sols lourds.

❖ Structure

Baver *et al.*, (1972) rappellent que la description de la structure repose sur l'identification et la caractérisation des assemblages des particules primaires et des particules secondaires. Ce sont les arrangements de ces assemblages qui donnent leurs structures aux horizons du sol. Ils apparaissent à l'observation comme des volumes plus ou moins grands délimités par des surfaces de moindre résistance qui prennent naissance sous l'action des perturbations mécaniques d'origine naturelle dues à la pédogénèse ou d'origine artificielle dues aux passages de divers outils dans le sol. De ce point de vue, la structure peut être définie par les blocs de matériaux terreux produits par une action de fragmentation. Cette démarche a ensuite été prolongée par les chercheurs américains du département de l'agriculture des USA qui définissent la structure comme le résultat de l'agrégation des particules primaires en assemblage, appelées agrégat, séparés par des surfaces de moindre résistance. Ils leur ont donné l'appellation américaine de « ped » à laquelle nous conviendrons de faire correspondre le mot agrégat pour les blocs de dimensions inférieures à 1 cm et de mottes pour les blocs de dimensions plus grandes.

❖ Porosité ou les vides du sol

Le mot porosité peut recouvrir deux notions. L'une se réfère à une qualité, celle d'un milieu qui possède des pores, c'est-à-dire un milieu poreux. L'autre est une grandeur physique qui exprime le rapport entre deux volumes, le volume occupé par des pores dans un milieu donné et le volume total de ce milieu. Une grandeur complémentaire de la porosité totale, est la masse volumique apparente (Calvet, 2003).

❖ Régime hydrique (eau du sol)

Le régime hydrique du sol dépend directement des trois propriétés précédentes :

- La texture détermine les forces de rétention de l'eau.
- La structure influence la circulation de l'eau.
- La porosité définit le volume du réservoir hydrique du sol.

La quantité « totale » d'eau retenue par un sol est la différence de poids d'un échantillon avant (poids frais) et après (poids sec) dessiccation à 105°C. Rapporté au poids frais, elle permet de calculer le taux d'humidité pondérale. Cette dernière ne comprend toutefois pas l'eau fixée chimiquement, par exemple sur des argiles, qui n'est évaporée qu'à 500°C (Gobat *et al.*, 1998).

I.2.7 - Propriétés chimiques du sol

❖ Complexe argilo-humique

Dans l'écosystème, le sol est le siège privilégié de la rencontre entre les mondes minéral et organique. A l'échelle macroscopique, le « terre » en est l'expression, à travers les diverses structures définies précédemment. Parmi elles, la structure grumeleuse réalise au mieux cette rencontre, dans les macroagrégats structuraux.

En réalité, chaque macroagrégat est lui-même composé de plus petites unités accolées, d'une taille de 50 μm environ, les macroagrégats, dans lesquels on distingue des paillettes de limons et des colonies bactériennes soudées par des polysaccharides. La cohésion générale des microagrégats est assurée par une matrice souvent brunâtre, le complexe argilo-humique (Gobat *et al.*, 2010).

❖ Capacité d'échange cationique et le taux de saturation

Selon les mêmes auteurs, tous les complexes absorbants ne présentent la même capacité à fixer les ions, en raison des types d'argiles ou de biopolymères qui le composent. Les proportions des différents cations varient également selon l'ambiance physico-chimique générale. Il est portant d'un grand intérêt de comparer des sols différents au sujet de la quantité de cations basiques fixés par rapport aux cations acides ; c'est une bonne indication de la fertilité minérale mais aussi du degré général d'évolution. Pour ce faire, quatre valeurs sont à définir et estimer : la capacité d'échange cationique CEC, la somme des cations basiques échangeables (S), l'acidité d'échange (Ae) et le taux de saturation (V).

❖ pH des sols

L'acidité d'échange est quantifiée par titration ou évaluée par la mesure du pH_{KCl} . Mais on détermine aussi le pH_{eau} par analyse d'un échantillon placé dans de l'eau distillée. Dans ce cas, l'électrode ne mesure que les protons de la solution du sol, puisque aucun échange n'est effectué ; on parle alors d'acidité actuelle, active ou réelle. Le pH_{eau} est ainsi toujours un peu plus élevé que le pH_{KCl} , de 0.2 à 1.5 unités selon les cas.

Le pH_{KCl} est le « vrai » pH du sol, puisqu'il intègre dans une certaine mesure les caractères physico-chimiques des solides du sol, et donc le long terme. Le pH_{eau} est utile à l'étude des relations sol-plante ou pour comprendre des processus fonctionnels à court terme, comme la lixiviation de cations très mobiles. La majorité des sols des régions tempérées ont des pH compris entre 4 et 7.5 (Gobat *et al.*, 1998).

❖ Potentiel d'oxydoréduction :

Gobat *et al.*, (2010) expliquent que l'air du sol contient en moyenne 18 à 20% d'oxygène, ce qui est suffisant pour les organismes aérobies. Mais, dans des cas précis, la concentration en oxygène peut diminuer fortement, jusqu'à sa disparition, qui engendre des conditions réductrices. Les bactéries

peuvent à leur tour accentuer les conditions réductrices. Ces activités biochimiques s'inscrivent dans un processus d'auto-organisation très complexe d'un véritable système « sol-microorganismes », qui intègrent des aspects chimiques, comme le potentiel redox, et physiques, comme la microstructure. L'étude de cette auto-organisation bio-chimio-physique est un des grands défis à venir de la biologie des sols.

I.2.8 – Propriétés biologiques du sol

Les organismes vivants du sol sont en excluant les racines et la méso-faune (proportion typique de biomasse), les bactéries (25%), les champignons (59%), les algues (traces), les protozoaires (4%) et la microfaune (12%) (Gobat *et al.*, 1998).

Les bactéries représentent les microorganismes les plus abondants dans le sol en densité et en nombre, même si les champignons représentent une quantité de biomasse plus importante. Les microorganismes du sol sont aujourd'hui reconnus comme étant un des facteurs clé dans l'évolution des sols.

I.2.9 - Matière organique

❖ Evolution de la matière organique dans le sol

Selon Bruckler *et al.*, (2009), la matière organique du sol évolue sous l'incidence de divers processus physiques, chimiques ou biologiques. Le processus physique correspond à la séquestration du carbone, qui est alors inaccessible par les microorganismes. Les transformations des matières organiques se réalisent essentiellement par les processus de recombinaison (humification) et de dégradation (minéralisation).

❖ Minéralisation de la matière organique

D'après Abiven (2004), la minéralisation de la matière organique est un processus de dégradation. Ses conséquences principales sont la diminution de la teneur en matière organique dans un sol, et une disparition sélective de certains composés. La décomposition d'une matière organique s'exprime en termes de carbone minéralisé et de types de molécules présentes dans le sol au cours du temps.

Pour Guerrero *et al.*, (2000) ; Busby *et al.*, (2007), un apport de matière organique provoque un pic d'activité des microorganismes du sol. Cette matière organique, compostée ou non, constitue une source contenant des composés facilement minéralisables, notamment des sucres et des protéines (Jones et Murphy, 2007). Le pic de minéralisation est d'autant plus marqué que l'apport est généralement suivi d'un travail du sol, qui permet de mélanger le sol à la matière organique apportée, et de renouveler l'oxygène du sol. Les composés les plus facilement dégradables sont consommés en premier (Bernal *et al.*, 1998 ; Pascual *et al.*, 1998).

Du point de vue des microorganismes, l'apport de matière organique est suivi d'une augmentation des populations à "stratégie r", qui ne sont pas spécifiques d'un type de substrat, et ont la capacité

d'utiliser les ressources disponibles facilement dégradables. Ce sont ensuite les microorganismes à "stratégie K" qui se développent, mais plus lentement : ils sont en général spécifiques de la dégradation de substrats plus complexes (De Leij *et al.*, 1993). Les premiers sont responsables du pic de minéralisation qui suit l'incorporation de la matière organique.

Les microorganismes responsables de la dégradation occupent en général moins de 5% du volume disponible dans le sol (Ingham *et al.*, 1985). De plus, la décomposition de la matière organique est un phénomène discontinu dans le temps, mais aussi dans l'espace : les microorganismes sont abondants au niveau des matières organiques apportées (Parkin, 1987), et au niveau des extrémités racinaires (rhizosphère) (Lynch, 1990), où l'activité microbienne est stimulée par les exsudats racinaires, composés de polysaccharides faciles à dégrader (Dorioz *et al.*, 1993).

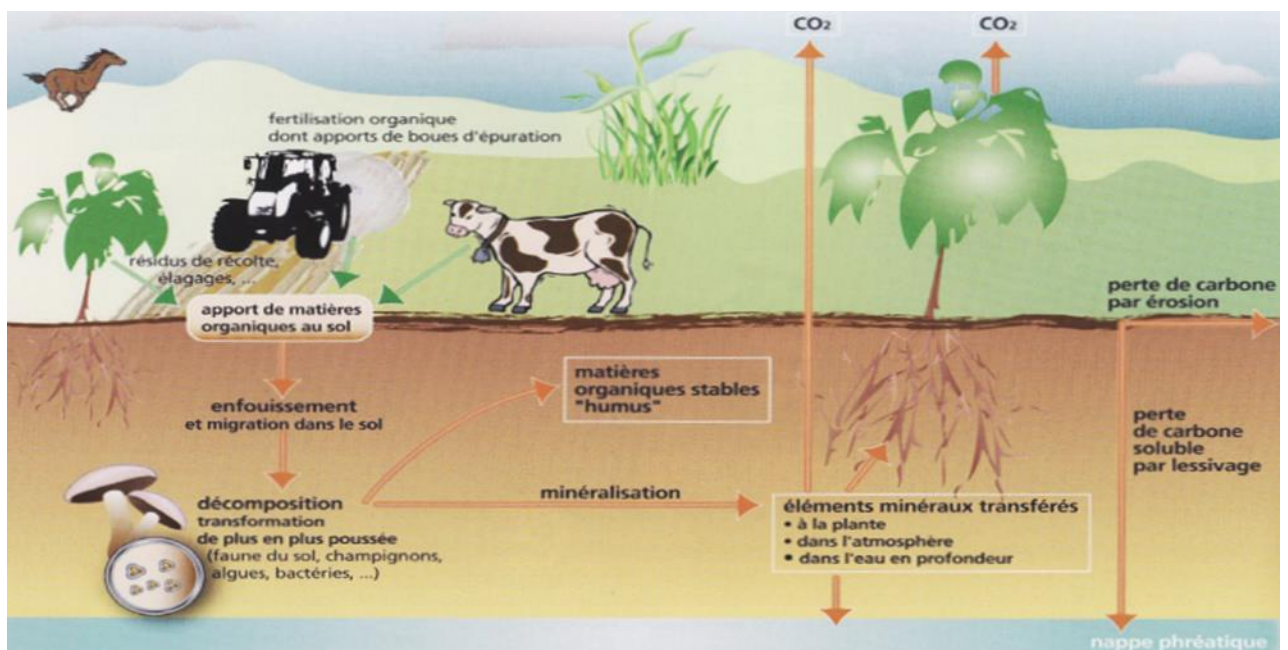


Figure 3. Cycle du carbone (Bruckler *et al.*, 2009).

CHAPITRE II – LABOUR CONVENTIONNEL

II.1 - Introduction

Selon plusieurs auteurs (Debaeke et Aboudrare, 2004 ; Aboudrare *et al.*, 2006 ; Guyomard *et al.*, 2013), le travail du sol conventionnel ou labour consiste à découper une bande de terre et la retourner. Les outils mis en œuvre sont les charrues à socs ou à disques. La profondeur de travail varie en fonction du type d'outil et peut atteindre 25 à 35 cm.

Köller (2003) et Marot (2010) ont montré que le travail du sol est une pratique ancestrale, dont un des buts premiers est de créer un environnement favorable à la germination des graines et au développement des racines.

Le premier outil permettant d'enfouir et de recouvrir les graines est apparu il y a environ 10 000 ans dans la civilisation sumérienne, puis fut progressivement perfectionné au cours des siècles jusqu'à l'apparition de la première "charrue romaine" décrite par Virgile. La "charrue moderne" fut dessinée aux Etats-Unis par Thomas Jefferson en 1784 et brevetée par Charles Newfold en 1796. Son utilisation s'est ensuite largement répandue et devient rapidement un des symboles de l'agriculture moderne (Lal *et al.*, 2007).

II.2 - Principaux avantages du labour conventionnel

- La destruction de toute la végétation.
- Lutter contre les parasites des plantes.
- L'amélioration des réserves d'eau et leur circulation dans le sol (Doucet, 2006).
- Restructuration des sols tassés sur la profondeur de labour et amélioration de l'enracinement des cultures.
- Meilleure infiltration de l'eau et limitation du ruissellement par stockage superficiel, associés à une réduction des risques d'anoxie et des émissions de N₂O à montrer Aboudrare (2000).
- Diminution des risques de transfert des éléments dans les sols drainés via un meilleur enracinement des végétaux.
- Retournement et enfouissement des adventices, des graines d'adventices et des résidus végétaux contaminés par des pathogènes, d'où une limitation de la consommation de pesticides (surtout d'herbicides).
- Enfouissement des épandages organiques, réduction de la volatilisation d'ammoniac.
- Densité et régularité d'enracinement dans l'horizon superficiel, permettant une meilleure alimentation hydrique et minérale (Labreuche *et al.*, 2007).

II.3 - Principaux inconvénients du labour conventionnel

- Opération très gourmande en énergie directe (fioul) et en temps de travail.

- Dilution de la matière organique dans les horizons travaillés et fragmentation parfois excessive du sol, d'où une augmentation des risques d'érosion sur les terrains sensibles.
- Emissions de gaz à effet de serre importantes du fait de la forte consommation de carburant et du moindre stockage de carbone dans les sols associés à l'augmentation de la vitesse de minéralisation de la matière organique du sol (Labreuche *et al.*, 2011).
- Perturbation de la macrofaune et microfaune du sol, notamment celle vivant à la surface du sol.
- Les labours peuvent occasionner des problèmes dans les sols très caillouteux ou très superficiels (usure ou casse des outils) ; de même que des problèmes d'érosion dite mécanique dans les sols de coteaux à forte pente par exemple).
- Opération gourmande en énergie qui accroît l'exposition de l'agriculteur aux fluctuations du prix de l'énergie : la sensibilité aux aléas économiques est donc augmentée.
- Opération techniquement délicate ; les risques de mauvaise réalisation sont assez importants, avec en particulier le risque de création de semelles de labour (compactage juste sous l'horizon labouré).
- Le labour enfouissant les résidus végétaux, ces derniers ne peuvent plus couvrir le sol ; ce qui peut aboutir à exposer le sol nu aux pluies (risques de battance et érosion dans les sols sensibles).

II.4 - Différents types de travail du sol

II.4.1 - Labour

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

Selon la même source, le labour avec une charrue à versoirs reste l'opération de base pour des systèmes conventionnels. Ses objectifs sont de répartir la fumure de fond et les amendements sur toute l'épaisseur de la couche arable, de contrôler les adventices et les repousses, d'enfouir les résidus de récolte, d'assurer un ameublissement de la couche arable et d'améliorer le ressuyage des terres humides ou drainées. Il permet de détruire les cultures intermédiaires. Enfin, en remontant les couches profondes, il permet leur fissuration par le climat et leur fragmentation par les outils de travail superficiel.

II.4.2 - Pseudo-labour

D'après plusieurs auteurs, Masse *et al.*, (2004) ; Marot (2010), le pseudo-labour comme étant une opération de travail profond avec mélange des horizons mais sans retournement de ceux-ci. Le

pseudo-labour affecte une épaisseur de couche arable équivalente à celle du labour. Elle est souvent comprise entre 20 et 30 cm de profondeur mais peut aller jusqu'à 40 cm.

A long terme et à profondeur de travail identique, la dilution des matières organiques ou des éléments minéraux dans le sol est équivalente entre labour et pseudo-labour, même si l'on retrouve, après un pseudo-labour, plus de débris végétaux en surface, et quelques adventices non enfouies. Le pseudo-labour peut remplacer le labour dans certains itinéraires techniques de préparation du sol, les objectifs poursuivis étant en gros les mêmes.

II.4.3 - Décompactage

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

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

II.4.4 - Sous-solage

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

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

II.4.5 - Travail superficiel

Schneider *et al.*, (2006) rappellent que le travail superficiel du sol correspond à un travail compris entre 0 et 15 cm. Il inclut un mélange des résidus de culture dans le volume travaillé, mais sans retournement. Les opérations de travail superficiel n'incluent pas l'utilisation de la charrue déchaumeuse à versoirs. En effet, cet outil réalise un travail superficiel, entre 10 et 15 cm de profondeur avec mélange et retournement du sol : il effectue donc un labour.

Au fil des ans et avec le développement des Techniques Culturelles Sans Labour, les objectifs agronomiques du travail du sol ont évolué. De nos jours, le travail superficiel sur 5-8 cm est de plus en plus souvent pratiqué. Il permet, comparé à un travail à 10-15 cm, de laisser plus de résidus en surface pour limiter le ruissellement, de permettre une meilleure levée des adventices (faux semis) et de créer des lits de semences moins grossiers. Un travail peu profond permet également de réduire les coûts et d'améliorer les débits de chantiers. Tout en étant conscients du côté un peu arbitraire du seuil retenu, ces exigences nous amèneront à distinguer deux profondeurs de travail superficiel : 8 et 15 cm.

Il existe une grande diversité d'outils, animés ou non, utilisés pour le travail superficiel. Ces outils sont plus ou moins adaptés à chacune des deux profondeurs mentionnées ci-dessus. En effet, beaucoup d'outils sont polyvalents, seul le réglage de la machine est adapté à la profondeur visée. De plus, on trouve sur le marché des outils combinés, qui présentent plusieurs sortes de pièces travaillantes, montées sur un même bâti, ce qui permet de réaliser plusieurs objectifs en un seul passage. Les différents types de dents ne travaillent pas forcément à la même profondeur. Ce type d'outil comporte généralement un rouleau qui complète l'action d'émiettement du sol et qui le nivelle. La description de l'outil utilisé ne permet donc pas toujours de définir le type d'opération pratiquée.

CHAPITRE III – SEMIS DIRECT

III.1 - Introduction

Les principales techniques de travail et de couverture du sol qui visent à modifier l'état et les propriétés physiques, chimiques et/ou biologiques du sol afin de créer les conditions favorables pour l'implantation, la germination et la croissance des plantes (FAO, 2011), et plus généralement pour l'ensemble des fonctions productives et écologiques du sol. Elle a de multiples conséquences directes et indirectes sur les processus physiques, chimiques et biologiques du sol, donc sur le comportement hydrique des sols. Ainsi le rendement et la qualité des récoltes, la nutrition des plantes et du statut organique des sols, le stockage du carbone et les émissions de gaz à effet de serre.

L'Agriculture de conservation (AC), qui vise tout particulièrement à combattre les processus de dégradation des sols, au premier rang desquels l'érosion hydrique ou éolienne, associe trois principes : réduire le travail du sol, maintenir une couverture végétale par les résidus et les plantes ; pratiquer une alternance des espèces cultivées. L'Agriculture de conservation est aujourd'hui pratiquée à l'échelle mondiale sur une superficie estimée à environ 120 millions d'hectares, soit 8% des terres cultivées mondiales, d'après les résultats publiés lors du Congrès Européen de l'Agriculture de Conservation (Guyomard *et al.*, 2013).

III.2 - Historique et objectifs actuels du semis direct

Le semis direct n'est pas un concept récent puisque cette pratique était déjà pratiquée par les agriculteurs de l'Egypte ancienne et les Incas des Andes en Amérique du Sud (Derpsch, 1998a). Dans les tropiques humides, et notamment dans les pays de l'Amérique centrale, les tapado (en espagnol) ou slash ou mulch (en anglais), qui consistent à cultiver un abattis sans utilisation de feu, ont déjà été pratiqués depuis longtemps, et constituent aussi une des formes les plus anciennes du semis direct.

D'après Zanella (2007) ; Labreuche *et al.*, (2014), l'utilisation du non labour ou le semis direct a connu un vif essor aux USA après la crise érosive du *Dust Bowl*. Au cours des années 30, les Etats des Grandes Plaines des Etats-Unis ont été touchés par une intense érosion éolienne. Cette crise résulte d'une sécheresse très prononcée qui a frappé ces Etats à partir de 1934 ainsi que d'une mise en culture inconsidérée des prairies naturelles préexistantes. La conjonction de ces deux facteurs a progressivement déstructuré les sols formant des particules facilement mobilisables par les vents. Des tempêtes de sables ont alors frappé les Etats côtiers des Etats-Unis dès 1934. La plus impressionnante des tempêtes (les Black Blizzards) a frappé l'Est du pays de Chicago à Manhattan en 1934 comme le signale Masutti (2004). Le même auteur, montre que le *Dust Bowl* n'est pas un simple phénomène géomorphologique, il s'agit d'une crise sociale et économique qui a profondément marqué la conscience du pays.

L'ampleur de cette crise érosive importante déboucha sur le *Soil conservation Act* en 1935 qui institua la création du SCS (Soil Conservation Service), qui était auparavant une division de l'USDA (United States Department of Agriculture). Le SCS recommanda alors le développement de mesures conservatoires parmi lesquelles de nouvelles pratiques culturales comme l'indique Helms (1990). Les objectifs étaient alors agronomiques et visaient essentiellement à enrayer le déclin de la matière organique en surface et lui fournir une protection contre le vent. Les mesures envisagées à l'époque étaient :

- l'adoption des techniques variées de conservation du sol (*no-till*, *ridge-till*, *mulch-till*) visant à laisser une couverture végétale en surface afin de protéger le sol contre et d'enrayer la baisse en matières organiques de l'horizon de surface ;
- la mise en place du *contour-tillage* : travail du sol en courbe de niveaux en alternant haies brise-vent ;
- d'augmenter les apports organiques ;
- la reconversion des parcelles trop dégradées en prairie permanente.

Suite à ces recommandations, le semis direct a connu un fort développement aux Etats-Unis qui représentent aujourd'hui le premier pays en termes de surfaces cultivées (42 millions ha en 2003).

Selon Sebillote et Meynard (2004), ce développement plus important grâce à l'apparition d'herbicides capables de traiter le problème que représentaient les adventices.

Les pays d'Amérique du Sud, touchés par des processus d'érosion hydrique représentent également des surfaces conséquentes : 17 millions d'ha au Brésil, 13 millions d'ha en Argentine. Dans le cas de l'Argentine, l'essor a été notamment encouragé par la mise au point de variétés transgéniques résistantes aux herbicides totaux.

Tableau 2. Zone en semis direct par continent

<i>Continents</i>	<i>Superficie (hectares)</i>	<i>Total (%)</i>
Amérique du Sud	49.579.000	46,8
Amérique du Nord	40.074.000	37,8
Australie et la Nouvelle-Zélande	12.162.000	11,5
Asie	2.530.000	2,3
Europe	1.150.000	1,1
Afrique	368.000	0,5
Total	105.863.000	100%

Source : Derpsch et Friedrich, 2009.

Il est bien connu que seuls quelques pays dans le monde mènent des enquêtes régulières dans l'aperçu global de l'agriculture de conservation ; adoption du non-labour (4th World Congress on Conservation Agriculture, 2009). Les données présentées dans ce document sont basées principalement sur

les estimations réalisées par les organisations d'agriculteurs, de l'industrie agro-alimentaire, les personnes bien informées,etc.

Les auteurs ont pris soin d'inclure uniquement les données qui semble bien fondée et fiable. Le tableau 2 montre la zone en semis direct et le pourcentage d'adoption par continent (Derpsch et Friedrich, 2009).

On estime qu'à l'heure actuelle le non labour est pratiqué sur plus de 105 millions hectares dans le monde entier. Le tableau 2, montre que 46,8% de la technologie est pratiquée dans l'Amérique du Sud, 37,8% est pratiquée aux Etats-Unis et au Canada, 11,5% en Australie et en Nouvelle-Zélande et de 3,7% dans le reste du monde y compris en Europe, en Asie et en Afrique. Ces derniers sont les continents en développement en termes d'Aperçu global de l'agriculture de conservation ; adoption du non-labour. Malgré une bonne et longue recherche durable dans ces continents montrant des résultats positifs pour le non-labour, cette technologie n'a connu que de petits taux d'adoption (même source).

La taille de l'exploitation est un facteur explicatif du degré d'adoption du non labour. Chapelle-Barry (2008) observe que la part des surfaces travaillées en non labour augmente avec la taille totale de l'exploitation. Le gain de temps et la gestion des pointes de travaux (récolte/semis d'automne), proportionnels à la surface travaillée, sont des éléments qui expliquent cette adoption massive par les grandes exploitations.

III.3 - Définition du semis direct

Séguy et Bouzinac (1999) définissent le semis direct comme un système de semis, dans lequel la semence est placée directement dans le sol qui n'est jamais travaillé. Seul un petit sillon ou un trou est ouvert, de profondeur et largeur suffisantes, avec des outils spécialement conçus à cet effet, pour garantir une bonne couverture et un bon contact de la semence avec le sol. Aucune autre préparation du sol n'est effectuée. L'élimination des mauvaises herbes, avant et après le semis pendant la culture, est faite avec des herbicides, les moins polluants possibles pour le sol.

De son côté El Titi (2003a), le semis direct est l'absence totale de travail du sol, excepté celui des éléments semeurs. Le sol reste généralement couvert par les résidus de la culture précédente. Autrement dit, le semis direct est un système dans lequel l'installation des cultures, le semis notamment, se fait sans recours au travail mécanique pour préparer les lits de semis. Dans le cadre de l'agriculture de conservation, le terme de semis direct est compris comme un synonyme d'agriculture sans labour, zéro - labour, etc. Planter signifie placer la semence constituée de grains larges (maïs et haricot) dans un endroit bien précis (poquet) tandis que semer renvoie à un flux continu de semences comme dans le cas des céréales aux petits grains (blé et orge par exemple).

L'équipement utilisé pour le semis pénètre dans le couvert et crée une fente dans laquelle la semence est placée. La taille de la fente de semis et l'impact créé au niveau du sol doivent être les plus faibles possibles. Dans les situations idéales, la fente de semis est encore recouverte par le mulch de telle manière qu'aucune perte de terre ne soit visible en surface. Le semis est fait directement dans le mulch. Les résidus de récolte sont conservés en totalité ou en quantité suffisante pour une bonne couverture du sol. Les engrais et autres amendements sont épandus en surface, enfouis ou appliqués au moment du semis comme le montre Friedrich (2000).

III.4 - Associer une plante de service à une culture de rente

L'agriculture de conservation repose sur trois principes. On distingue trois grands types de systèmes : à couverture morte, à couverture vivante et à vocation mixte.

III.4.1 - Systèmes avec couverture morte

Il s'agit d'un système de culture où la couverture du sol est assurée soit par les résidus culturaux de la culture précédente (fig 4), soit par une culture implantée pendant l'interculture et détruit, à l'aide d'un herbicide, avant le semis direct de la culture de rente (Séguy *et al.*, 2002).



Figure 4. Système de culture du cotonnier sur couverture morte (Brévault *et al.*, 2005).

III.4.2 - Systèmes avec couverture vivante

Dans les systèmes avec couverture vivante, il existe des couvertures permanentes, où il s'agit souvent d'une espèce fourragère pérenne (fig 5), dont la partie aérienne a été desséchée, par un herbicide, tout en préservant les organes de reproduction végétative souterrains. Cette dernière est maintenue en vie ralentie jusqu'à ce que la culture de rente assure un ombrage total. Après la récolte, la couverture vivante couvre à nouveau le sol et peut être pâturée par le bétail (Séguy *et al.*, 2002). De

son côté Willey (1979) signale l'existence des systèmes de culture où la couverture est temporaire, en effet les espèces utilisées ne restent pas plus d'un an sur la parcelle.



Figure 5. Système de culture de maïs sur couverture vivante (Séguy et Bouzinac, 2001).

III.4.3 - Systèmes à vocation mixte

Séguy *et al.*, (2002) expliquent que les systèmes mixtes comportent des successions annuelles avec une culture principale et une seconde culture avec un minimum d'intrants, associée à une espèce fourragère (fig 6). Les cultures commerciales sont récoltées alors que la culture fourragère permet d'alimenter le bétail.



Figure 6. Semis direct de blé sous un mélange de couverts (Zanella, 2007).

III.5 - Couverture permanente du sol

Séguy et Bouzinac (2003), rappellent que la couverture permanente du sol joue un rôle déterminant dans les systèmes de culture productifs et respectueux de l'environnement. Entre autres, elle est importante pour :

- protéger le sol contre les effets destructeurs de la pluie ou des rayons solaires, et donc réduction du ruissellement et de l'érosion.
- séquestrer le carbone, contribuant ainsi à la réduction de l'effet de serre.
- augmenter la formation d'humus.
- l'activité biologique dans le sol, en protégeant et en assurant la nutrition des macro et des micro-organismes qui y vivent.
- créer un micro climat favorable pour le développement et la croissance optimale des racines des plantes et des organismes vivant dans le sol.
- limiter la baisse du taux de matière organique du sol.

La couverture permanente est assurée par un mulch végétal vivant (plantes de couverture) ou mort (paille). Elle peut se faire de différentes façons :

- maintien sur le sol des résidus de la culture précédente.
- présence d'une végétation naturelle.
- installation des plantes cultivées (cultures intercalaires ou dérobées) qui en dehors de leur fonction de protection du sol peuvent également être utilisées pour l'alimentation humaine ou du bétail (FAO, 2007).

III.6 - Principaux avantages et intérêts du semis direct

III.6.1 - Aspects agronomiques

L'absence de travail du sol limite les phénomènes de compaction et permet d'éviter la formation de semelles de labour (fig 7).

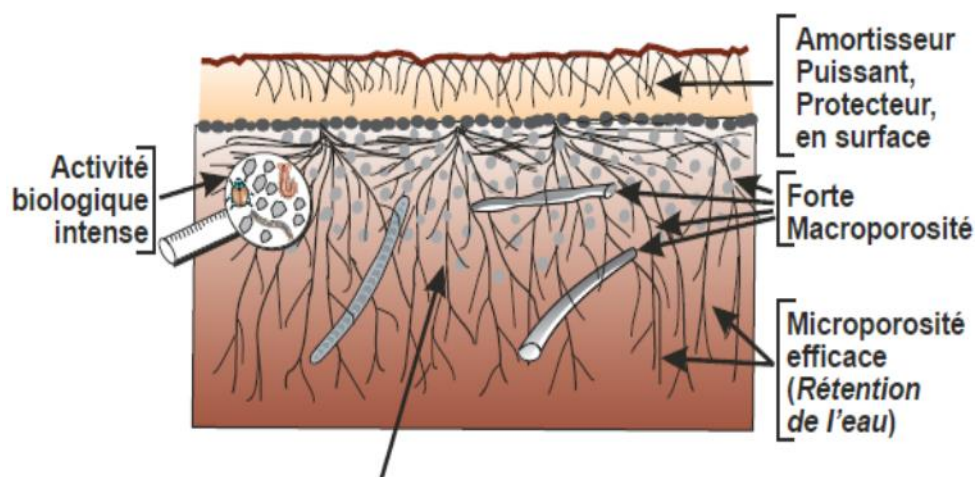


Figure 7. Effet du semis direct sur le sol (Séguy *et al.*, 2002).

La biomasse produite par les plantes de couverture permet une augmentation du taux de matière organique (bilan carbone positif) dans le sol qui se traduit par une amélioration de la structure du sol (Séguy *et al.*, 2001).

III.6.2 - Aspects environnementaux

Raunet *et al.*, (1998) signalent que le sous couvert végétal favorise une forte activité biologique, l'infiltration complète de l'eau des pluies, la suppression de l'érosion, la limitation des pertes par lixiviation et la séquestration du carbone dans le sol. La présence du mulch et le non-labour du sol entraînent une stimulation de l'activité biologique dans le sol (fig 7).

III.6.3 - Aspects techniques

Selon la même source, la réduction du temps de travail avant le semis, une plus grande facilité d'accès aux parcelles en période très humide sont rendues possibles.

III.6.4 - Aspects socio-économiques

Outre les aspects positifs sur les plans agronomiques et environnementaux, un intérêt majeur de ces systèmes est qu'ils sont particulièrement attractifs sur le plan économique du fait de la réduction des temps de travaux et de leur pénibilité, de l'optimisation de l'organisation du travail avec un accès facilité aux champs, mais aussi de la réduction de la consommation en carburant pour les grandes exploitations, des intrants (engrais, pesticides), et des investissements (tracteur, charrue,... etc). En conséquence, ces systèmes procurent une meilleure rentabilité de la terre, du capital et du travail que les systèmes conventionnels tout en préservant l'environnement. Sur le plan social, la protection du sol est fondamentale : perdre sa terre condamne l'agriculteur. La large capacité d'adaptation de ces systèmes aux diverses conditions agroécologiques, moyens de production, et niveaux d'intensification, les rend aussi accessibles aux différentes catégories d'agriculteurs, y compris les plus pauvres.

De plus, le semis direct sur couverture végétale permanente est le premier moyen crédible et vulgarisable d'aboutir, pour les moins favorisés, à une agriculture biologique qui leur permettrait d'augmenter la valeur ajoutée de leurs produits en leur ouvrant le marché mondial parce ces derniers répondent aux besoins des consommateurs (Séguy et Bouzinac, 2003).

III.7 - Inconvénients du semis direct

Cette pratique élémentaire présente aussi un certain nombre d'inconvénients :

- La conservation de résidus de culture potentiellement contaminés augmente les risques de fusarioses qui, au-delà de leur impact sur le rendement, sont à l'origine de la dégradation de la qualité sanitaire des céréales (production de mycotoxines) ; ce problème n'est toutefois cantonné qu'aux précédents maïs et sorgho.
- Persistance des ornières et zones tassées si celles-ci ont été créées.

- Diminution de la porosité de l'horizon de surface comme l'explique Carof (2008), ce qui peut induire des risques de tassement.
- La vitesse de ressuyage du sol est plus lente au printemps, d'où des difficultés potentielles lors de l'implantation de cultures telles que le pois du printemps ou le tournesol (Viloingt *et al.*, 2006).
- La vitesse de minéralisation du sol est ralentie par rapport à des situations avec labour (Gerron, 1991), la fertilisation azotée peut donc être augmentée.

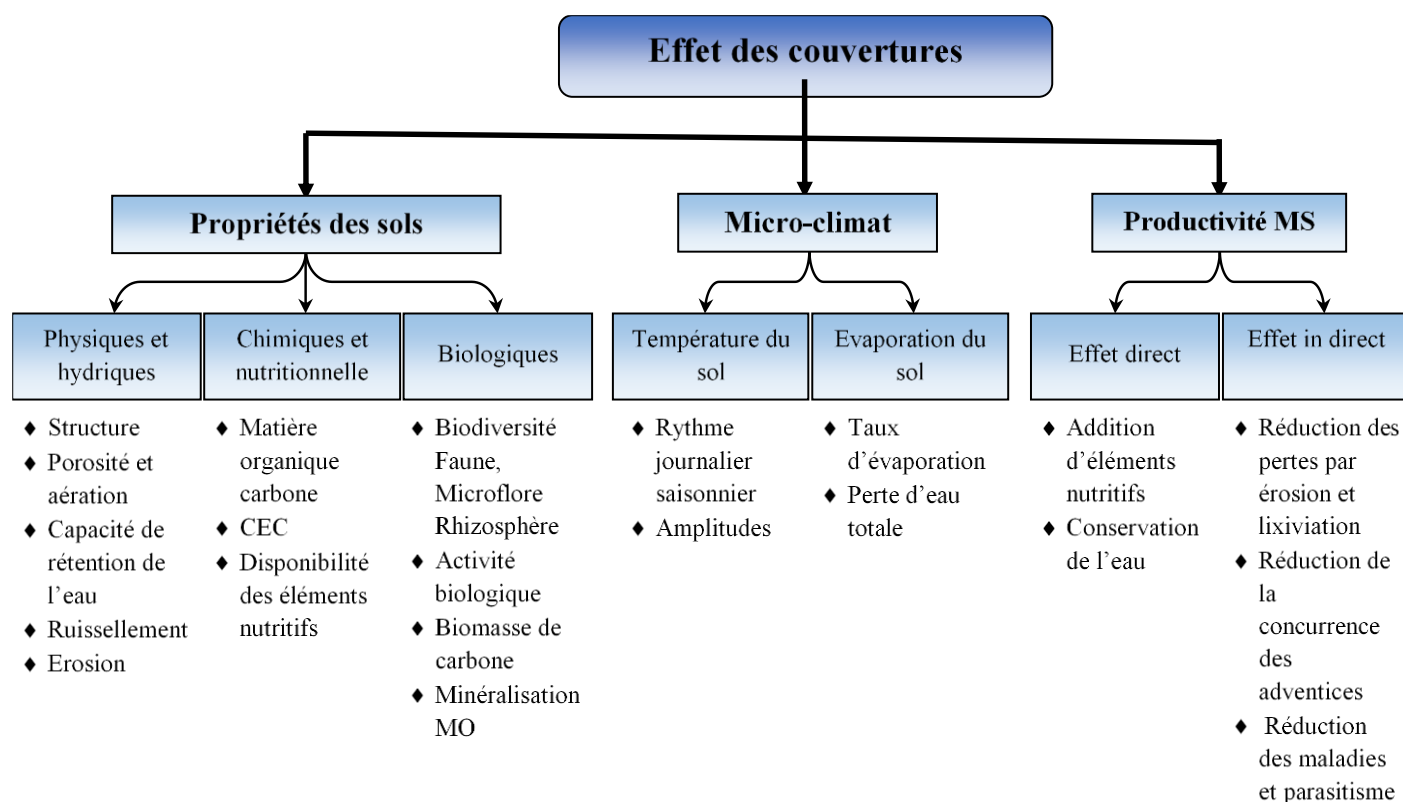


Figure 8. Effet des couvertures des sols au niveau de la parcelle (Séguy et Bouzinac, 2006).

- Evolution de la flore adventice du sol ; la suppression du labour se traduit par une plus grande dépendance aux herbicides (Melander *et al.*, 2012).
- Accumulation des éléments phosphore en surface, ce qui induit des risques de ruissellement accrus sur les terrains superficiels (Labreuche *et al.*, 2007) et une nutrition plus sensible aux conditions hydriques (risques de carence P, K associée à la sécheresse).
- L'absence de perturbation du sol favoriserait les processus de dénitrification, N_2O et NH_3 (Labreuche *et al.*, 2011), et le développement de nuisibles tels que les campagnols des champs, les limaces, ...etc.

- L'absence de fragmentation du sol favorise les risques d'anoxie et les émissions de N_2O par dénitrification, pénalisant le bilan global en termes d'émission de gaz à effet de serre (GES).
- Comme pour la pratique élémentaire précédente « pratiquer le non labour avec travail superficiel du sol », l'impossibilité du recours au labour dans le cas où la situation pourrait l'exiger rend cette pratique plus sensible aux aléas, notamment climatiques (Carof, 2008).

III.8 - Effets du semis direct sur les propriétés physiques du sol

III.8.1 - Sur la structure du sol

Le travail du sol affecte les facteurs biotiques et abiotiques du sol, soit directement en modifiant les propriétés structurales du sol comme l'arrangement des vides, les agrégats, la connectivité des pores, soit indirectement en changeant les conditions d'aération, de température et de pénétrabilité du sol par les racines (Huwe, 2003). La structure du sol est le résultat, à un moment donné, de l'équilibre entre les phénomènes de tassement (par le passage d'engins agricoles, conditions humides d'intervention), de fragmentation (par le climat, la faune et/ou le travail du sol), d'agrégation (par des compactations modérées ou par le climat et/ou la faune) et de déplacement du sol par le travail du sol (Roger-Estrade *et al.*, 2000). De leur côté Boizard *et al.*, (2004) rappelle que la structure du sol est très variable au sein des couches de sol cultivées non seulement dans le temps (sous l'action des systèmes de cultures, du climat) mais aussi dans l'espace. Le sol présente donc une forte variabilité spatiale des conditions locales de circulation d'eau, d'activité biologique et d'aération. Dans les systèmes labourés, la structure du sol est principalement hétérogène. Elle est composée de l'assemblage de sol fin, de mottes compactées ou non (décimétriques), de résidus de cultures répartis le long de la bande de labour, de vides et de fissures issus de l'action de retournement, de déplacement et de fragmentation de la charrue sur la couche de sol labourée (Roger-Estrade *et al.*, 2004b) tandis que dans les systèmes non travaillés (semis direct) la structure d'un sol non travaillé est plus homogène et présente souvent une structure plus massive composée de macro-pores d'origine biologique. Les fissures et les vides sont en général moins importants dans les sols non travaillés ou dans les systèmes de travail du sol réduit du type chisel (Rasmussen, 1999). Par ailleurs, les résidus de cultures ne sont pas enfouis en profondeur et sont concentrés en surface ou dans les premiers centimètres de sol, améliorant la stabilité structurale du sol (Tebrügge et Düring, 1999).

Plusieurs auteurs Kandeler et Murer (1993) ; Balesdent *et al.*, (2000) signalent que la présence d'un mulch en surface dans les systèmes de conservation augmente également la stabilité structurale des sols, protège les sols des fortes pluies et limite les phénomènes de battance et les risques d'érosion hydrique (Blanco-Canqui et Lal, 2007).

III.8.2 - Sur la densité apparente du sol

Réduire l'intensité et la profondeur du travail du sol conduit en général à une augmentation de la densité apparente du sol est toutefois moins importante dans les systèmes de travail du sol réduit que dans les systèmes type semis direct (Kay et Vanden Bygaart, 2002), augmentation de la densité apparente du sol mais pas au-delà de l'ancien fond de labour (Rasmussen, 1999 ; Tebrügge et Düring, 1999).

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

III.8.3 – Sur la porosité du sol

L'augmentation de la densité apparente du sol dans les anciennes couches labourées fait que la porosité totale du sol est globalement réduite dans les systèmes de conservation. La forme, la taille et la continuité de l'espace poral changent également selon le type de travail du sol appliqué. L'effet des techniques de travail du sol sur la micro ($< 0,2 \mu\text{m}$) et la méso-porosité ($0,2\text{-}30 \mu\text{m}$) du sol (importante pour le stockage de l'eau et siège des activités microbiennes) varie selon le temps d'application et la profondeur de travail de l'outil considéré. La macroporosité d'origine biologique est généralement augmentée dans les sols non labourés par rapport aux sols labourés. L'absence de fragmentation et d'homogénéisation du sol due à l'action de la charrue favorise le développement de macropores d'origine biologique (racines, galeries de vers de terre), plus stables, continus et plus connectés les uns aux autres en favorisant la macroporosité biologique (Vogeler *et al.*, 2006).

III.9 - Effets du semis direct sur les propriétés chimiques

III.9.1 - Teneurs et stocks en C et N

Les concentrations en C et en N organique dans les systèmes de conservation sont en général supérieures dans les 10 premiers centimètres du sol par rapport à un sol labouré et décroissent fortement dans les horizons sous-jacents (Al-Kaisi et Yin, 2005 ; Koch et Stockfisch, 2006 ; D'Haene *et al.*, 2008a).

D'auteurs Gál *et al.*, (2007) montrent que malgré une concentration en C et N plus importante en profondeur en labour (15-30 cm), les stocks de C et N sont supérieurs en semis direct du fait de l'augmentation de la densité apparente de cette couche de sol.

En effet, si globalement les techniques de travail du sol de conservation stockent plus de matière organique du sol (MOS) sur 0-30 cm, il apparaît que le stock de MOS est supérieur en dessous de 30

cm dans les sols labourés (Baker *et al.*, 2007) ce qui contribue à surestimer la capacité des techniques de conservation à augmenter le stockage du C dans les sols (tab 3).

Selon McCarty *et al.*, (1998) ; Stockfisch *et al.*, (1999), le rapport C/N de la MOS dans les systèmes de conservation est en général supérieur à celui des systèmes labourés en surface là où les résidus de culture s'accumulent, et peu de différences apparaissent en deçà.

Tableau 3. Séquestration du carbone, extraits de diverses études scientifiques

Zone climatique	Système de culture	Bilan de C en t (C/ha/an)	
		Pertes	Gains
Tempérée			
➤ USA	◆ Labour x monoculture blé ou maïs. ◆ Labour x Rotations avec plante couverture. ◆ Semis direct x monoculture blé ou maïs. ◆ Semis direct x Rotations avec plante couverture (SCV).	-0,105 à -0,460 -0,033 à -0,065	+0,33 à +0,585 +0,66 à +1,30
➤ Allemagne	◆ Agriculture « intégrée ».		+0,93
➤ Angleterre	◆ Semis direct.		+0,18 à +0,60
➤ France	◆ TCS (techniques culturales simplifiées).		+0,10 à +0,30
Subtropicale			
➤ Sud du Brésil	◆ Semis direct sur couverture végétale permanente (SCV).		+0,99 à +1,60
Tropicale (5 premières années)			
➤ Cerrados Brésil	◆ Semis direct sur couverture végétale permanente (SCV).		+2,18
➤ ZTH : Brésil, Gabon, Madagascar	◆ Conventionnel disques (sol plat). ◆ Conventionnel disque (sol en pente). ◆ Semis direct (SCV) intégrant ou non l'élevage.	-0,33 à -0,44 -1,00 à -1,40	+0,83 à +3,46
Zone tropicale d'altitude (Madagascar)	◆ Labour x monoculture maïs, soja, haricot. ◆ Semis direct sur couverture végétale permanente diversifiée (SCV).		+1,80 à +3,00

Source. Needelman *et al.*, 1999 ; Pekrun *et al.*, 2003 ; Al-Kaisi et Yin, 2005 ; Koch et Stockfisch, 2006 ; Gál *et al.*, 2007 ; D'Haene *et al.*, 2008a.

III.9.2 - Fractions granulométriques de la matière organique du sol

Selon Haynes (2005), la matière organique du sol (MOS) est composée d'un mélange de divers composés allant des résidus de culture frais à des composés humiques relativement inertes dont le

turn-over (décomposition) se mesure en millénaire et sa mesure ne fournit pas toujours une indication précoce d'un changement dans le statut organique du sol.

D'après Franzluebbers et Arshad (1997), les systèmes de conservation ont une plus grande part de la matière organique particulaire (MOP) que les sols labourés en raison notamment de la protection physique des MOP qui protège la MOS de l'activité microbienne dans les systèmes de conservation (Six *et al.*, 2000).

III.9.3 - Effet sur les autres éléments nutritifs

La répartition des éléments nutritifs est également modifiée par les techniques de travail du sol. Ainsi, les micronutriments présentent une stratification verticale identique à celle des pools de C et N : le P, Zn et K s'accumulent en surface dans les systèmes de conservation et diminuent en profondeur tandis qu'ils sont répartis de façon homogène sur la couche de sol labourée (Wright *et al.*, 2007). Selon la même source, la répartition des macronutriments (Ca, Mg, Na) semblent être plus liée à la nature et à la répartition des éléments minéraux du sol et sont en général plus concentrés en profondeur à proximité de la roche mère.

III.10 - Effets du semis direct sur les propriétés biologiques du sol

III.10.1 - Effet sur la matière organique du sol

Selon des travaux réalisés par Balesdent *et al.*, (2000), le travail du sol modifie la structure du sol (chapitre précédent) ainsi que la répartition des résidus de cultures et l'accessibilité de la MOS aux microorganismes. Ces modifications agissent sur la biologie du sol et notamment sur les microorganismes du sol. Les différentes relations entre ces "compartiments".

La mise en culture et les pratiques de labour ont causé un déclin général de matière organique dans les sols intensivement cultivés, en particulier aux Etats-Unis et en Europe, et des émissions importantes de CO₂ liées à l'agriculture dans le passé.

III.10.2 - Effet sur les macro-organismes

Kladivko (2001) signale que la diminution de l'intensité du travail du sol favorise en général le développement des macro-organismes. La perturbation physique, l'abrasion du sol et la diminution du mulch à la surface du sol limitent le développement des populations de carabes et d'araignées. Cependant, la présence d'un mulch en surface dans les systèmes de conservation procure aussi un espace protecteur pour les ravageurs des cultures et notamment pour les limaces (Peigné *et al.*, 2007).

III.10.3 - Effet sur les mauvaises herbes

Cure (1991) montre que la gestion des adventices est l'une des contraintes du développement de la technique du semis direct. En effet, la simplification du travail du sol favorise l'évolution du parasitisme, en raison, d'une part, à la présence des résidus laissés en surface et d'autre part à la non

perturbation du milieu caractéristique du semis direct. Il se produit une évolution de la flore de mauvaises herbes avec un risque d'inversion de la flore adventice en système de non labour prolongé avec apparition d'espèces vivaces. Il a été démontré à travers des expérimentations effectuées sur le même site de l'essai, que l'infestation par les mauvaises herbes peut diminuer notablement le rendement des blés de 50 à 60% (Hamadache et Abdellaoui, 1999).

CHAPITRE IV – BLÉ, ASSOLEMENT ET ROTATION ET PETIT POIS

IV.1 - Blé

IV.1.1 - Introduction

Dans tous les pays du monde, les céréales, originaires d'Orient, constituent la base de l'alimentation humaine en tant que sources protéiques et énergétiques. Actuellement 70% des surfacesensemencées sont destinées à la culture de céréales. Celles-ci constituent toujours la principale denrée car elles peuvent croître dans les sols et sous les climats les plus variés. De plus, elles peuvent être entreposées de manière économique sur de longues distances sans occuper beaucoup d'espace. Enfin, elles peuvent être utilisées nature ou être rapidement transformées pour l'alimentation humaine.

Aujourd'hui, le riz est la céréale la plus populaire en Orient et dans une partie de l'Asie, tandis que le blé est la base du régime alimentaire de l'Europe, de l'Amérique du Nord, de l'Afrique Nord et d'une partie de l'Asie (Bourdeau et Ménard, 1992).

Cette culture a été la principale spéculation de l'Algérien par leur transformation en semoulerie, en boulangerie et en industrie alimentaire, elles constituent la base de notre alimentation. Désormais, la production céréalière à l'échelle des besoins nationaux devient un impératif pour notre indépendance économique.

IV.1.2 - Importance du blé dans le monde et en Algérie

IV.1.2.1 - Production

La production mondiale de céréales en 2014 devait atteindre 2523 millions de tonnes (FAO, 2014). Pour le blé, la production devait atteindre en 2014 : 718,5 Mt (tab 4).

Tableau 4. Evolution de la production mondiale du blé entre 2012 et 2014 (million de tonnes).

<i>Pays</i>	<i>2012</i>	<i>2013 (estimée)</i>	<i>2014 (prévision)</i>
TOTAL MONDE	660,6	717,1	718,5

Source : FAO, 2014.

Les principales régions consommatrices de blé sont l'Asie (Asie de l'Est pour 140 Mt et du Sud pour 127 Mt) et l'Union européenne (121 Mt). Suivent les pays de l'ex URSS, le Moyen Orient, l'Amérique du Nord et l'Afrique. Certains pays comme le cas de l'Afrique du Nord et du Moyen Orient reposent en grande partie sur les importations pour assurer leur consommation. Avec 46 Mt importées en 2013/2014, les pays d'Afrique du Nord et du Moyen Orient contrôlent le tiers du marché mondial du blé. En Afrique du Nord, le premier importateur de blé est l'Égypte avec 10 Mt (tab 5) suivi de l'Algérie avec 6,5 Mt et pour des quantités plus faibles, le Maroc, la Libye et la Tunisie (AS, 2014).

Tableau 5. Pays importateurs du blé en Afrique du nord (million de tonnes) (CIC, 2014).

<i>Pays</i>	<i>2012/2013</i>	<i>2013/2014</i>	<i>2014/2015 (prévisions)</i>
Algérie	6,4	6,6	6,0
Egypte	8,2	10,4	10,4
Maroc	3,9	3,9	3,0
TOTAL MONDE	140,5	152,2	144,1

L'évolution des quantités de blé exporté pour les principaux pays producteurs (tab 6 et fig 9) montre des variations d'année en année et ne correspond pas forcément à la quantité de production. L'Inde par exemple exporte seulement 6 % du volume de sa production alors que l'union européenne en exporte 17%.

Tableau 6. Principaux pays exportateurs du blé dans le monde (million de tonnes) (CIC, 2014).

<i>Pays</i>	<i>2012/2013</i>	<i>2013/2014</i>	<i>2014/2015 (prévision)</i>
Etats-Unis	27,5	31,1	26,5
Union Européenne	21,7	30,4	25,5
Canada	18,7	21,9	22,6
Australie	21,3	18,3	18,9
Russie	11,2	18,6	17,2
Ukraine	7,1	9,5	8,2
Kazakhstan	7,2	8,2	7,5
Inde	8,6	5,0	2,9
Argentine	7,1	1,3	6,3
Turquie	2,8	3,3	2,8
TOTAL MONDE	140,5	152,2	144,1

En Algérie, la production céréalière réellement obtenue durant la campagne 2017/2018 a été estimée à 60,5 millions de quintaux, contre 34,7 millions de quintaux durant la campagne précédente, soit une hausse de 74,4%, a précisé Monsieur Bouazghi (APS, 2018).

**Figure 9.** Grands pays exportateurs et importateurs du blé au monde (FAO, 2014).

IV.2 - Assolement et rotation

IV.2.1 - Assolement

IV.2.1.1 - Définitions

Doré (2012) ; Balzeau (2014) ont défini l'assolement comme la répartition de différentes cultures dans un espace donné. Nous pouvons parler de l'assolement comme la sole des différentes cultures décrites par des surfaces ou encore comme la proportion de la surface cultivée totale. Plus récemment, le même terme a été également utilisé pour caractériser la répartition géographique des cultures dans cet espace. Il désigne aussi, selon les cas, soit la construction de cette répartition, soit son résultat final.

L'assolement, mais aussi le travail du sol, influencent davantage la fertilité des plantes et des épis que le grossissement des grains, qui est davantage favorisé par la protection fongicide comme le note Charles *et al.*, (2011).

IV.2.1.2 - Quelques types d'assolement

❖ Assolement biennal

L'assolement biennal fait partie d'un dispositif agraire dans lequel la partie cultivée est divisée en deux soles. Cet assolement était typique surtout des zones méditerranéennes d'agriculture respectant les traditions (Al Karkour, 2008).

✓ Fonctionnement

L'assolement biennal suppose la division du finage cultivé en deux soles : une sole de céréale d'hiver (surtout du blé) et une sole de jachère.

❖ Assolement triennal

L'assolement triennal fait partie d'un dispositif agraire dans lequel la partie cultivée est divisée en trois soles. Cet assolement est typique des pays d'openfield (Schaller, 2012).

✓ Fonctionnement

L'assolement triennal suppose la division du finage cultivé en trois soles : une sole de céréale d'hiver (surtout du blé), une sole de céréale de printemps (orge, avoine) ou plus rarement de légumineuse et une sole de jachère.

IV.2.2 - Rotation

IV.2.2.1 - Définition

Bonte (2010) ; Moyen (2016) ont défini la rotation est la succession ordonnée et répétée des cultures sur une même parcelle est un point clé de la réussite du système grâce aux nombreux bénéfices qu'elle apporte.

De son côté Fontaine (2011) signale que la rotation est le premier levier activé pour gérer la fertilité des sols et contrôler les adventices. La clé d'une bonne rotation réside dans la diversité des cultures et surtout leur alternance : famille de plantes différentes, semis à des périodes variées, accroissement de la teneur en matière organique du sol (céréales à paille, maïs...), accroissement en éléments nutritifs (légumineuses), capacité à concurrencer les adventices, ... etc.

La rotation des cultures est un facteur essentiel pour obtenir des rendements élevés. Aucun des autres facteurs n'a compensé les effets défavorables de la monoculture comme là bien précis Charles *et al.*, (2011).

IV.2.2.2 - Avantages

□ Intérêts agronomiques

- ✓ elle contribue à rompre le cycle vital des organismes nuisibles aux cultures, ravageurs, maladies, mauvaises herbes, etc...

- ✓ en particulier, la succession de plantes de familles différentes (par exemple alternance de graminées et de plantes oléifères, type blé et colza) ;

- ✓ meilleur contrôle des adventices, chaque famille de culture est la cible de maladies et d'adventices spécifiques, Alternier les cultures permet d'alterner les traitements et donc d'éviter l'apparition de résistance à une matière active (Almaric *et al.*, 2008 ; Morlon, 2013b) ;

- ✓ grâce aux dispositifs racinaires différents, le profil du sol est mieux exploré, ce qui se traduit par un progrès des caractéristiques physiques du sol et surtout de sa structure (en limitant le compactage et la dégradation des sols), et par conséquent de la nutrition des plantes ;

- ✓ l'emploi de légumineuses permet l'ajout d'azote symbiotique dans le sol, D'une façon générale, la composition des différents résidus de cultures participe à la qualité de la matière organique du sol ;

- ✓ la rotation culturale a par conséquent un effet important sur la vie du sol et la nutrition des plantes ;

- ✓ un autre avantage de la rotation peut être une meilleure répartition de la charge de travail lors de l'introduction de prairies ou de jachère dans la rotation (Renaud et Colin, 2017) ;

- ✓ Augmentation des chances de survie des ennemis naturels, Les conditions homogènes encouragent les pullulations des ravageurs. Parallèlement, l'abondance et l'efficacité des prédateurs généralistes sont réduites car ces environnements simplifiés leur offrent peu ou pas d'alternatives adéquates en matière d'alimentation, d'abris, de lieu de reproduction et d'autres facteurs de l'environnement (Almaric *et al.*, 2008 ; Moyen, 2016).

L'élaboration d'une rotation cohérente est difficile car elle nécessite la prise en compte de nombreux facteurs différents.

Ainsi, rentabilité, maîtrise des adventices et maintien de la fertilité sont les trois principaux objectifs conditionnant les décisions de l'agriculteur lors du choix des rotations en systèmes céréaliers biologiques comme le signale Fontaine (2011).

□ Intérêts environnementaux

✓ Diminution de l'impact de l'agriculture sur la qualité de l'eau et de l'air : Cette diminution est la résultante de la réduction de l'usage de pesticides et d'engrais ainsi que de l'érosion de particules de sol chargées en éléments fertilisants et de pesticides ;

✓ Restauration du taux de matières organiques des sols et de la biodiversité : Ce résultat est étroitement corrélé à l'ajout de prairies dans le cycle de rotation, Ces prairies peuvent être valorisées par un élevage, Celui-ci permettra en outre un meilleur apport de matières organiques (Almaric *et al.*, 2008).

□ Intérêt socio-économique

La majorité des impacts agronomiques peuvent se traduire en terme socio-économiques. Ainsi pratiquer la rotation des cultures permet :

✓ Meilleure répartition de la charge de travail : Les cycles variant d'une culture à l'autre, la rotation des cultures étale de ce fait la saison des semis et des récoltes.

L'usage de la main-d'œuvre et du matériel se trouve ainsi mieux distribué.

✓ Augmentation des marges : La rotation permet une diminution de l'utilisation d'intrants (engrais et pesticides) qui constituent habituellement un poste important de dépense en grandes cultures.

✓ Sécurisation économique de l'exploitation : Plus le cycle de rotation est grand, plus l'impact économique d'une fluctuation de prix de matière première sur l'exploitation est moindre. Par exemple, pour un cycle de 6 ans, si les cours d'une culture diminuent, seul 1/6 de l'exploitation est concernée, Ceci la sécurise en cas d'une diminution importante du prix d'une culture par exemple.

A l'inverse, l'exploitant peut essayer de prévoir le comportement des marchés et introduire dans sa rotation une culture qui aurait un prix à la hausse. Dans l'établissement d'un cycle de rotation, il faut tenir compte des avantages à long terme (sur plus de cinq ans) pour l'exploitation agricole dans son entier, et non seulement les coûts et bénéfices des 12 prochains mois.

✓ Abandon du travail du sol : La rotation, en luttant contre les ennemis des cultures et en améliorant la fertilité du sol, permet une réduction du travail du sol, voire son abandon dans le meilleur des cas (semis direct).

✓ Une ouverture plus forte des exploitations vers leur territoire : La rotation va de pair avec la diversification des productions, Ceci conduit généralement les producteurs à accueillir des groupes

sur leurs exploitations, recréant ainsi le lien entre agriculteurs et consommateurs (Almaric *et al.*, 2008).

IV.2.2.3 - Inconvénients d'un manque de rotation

- ✓ Appauvrissement progressif de l'horizon exploité par le système racinaire provoquant des besoins en éléments fertilisants supplémentaires, des déséquilibres et des carences (Morlon, 2013a).
- ✓ Augmentation de la pression exercée par les pathogènes et ravageurs spécifiques à la culture et leur gamme d'hôtes.
- ✓ Augmentation des besoins en intrants.
- ✓ Altération de la structure du sol liée au retour de façons culturales semblables provoquant déstructuration, compaction du sol, manque de matière organique.
- ✓ Émission de substances pouvant s'avérer toxiques pour les cycles suivants (Mazoyer et Roudart, 1997).

IV.3 - Culture de rotation (Petit pois)

IV.3.1 - Botanique et écophysiologie

IV.3.1.1 - Caractères botaniques

Le pois cultivé appartient au genre *Pisum* de la famille des Légumineuses Papilionacées, tribu des Viciées, Les trois espèces principales du genre *Pisum* ou sous-espèces de *Pisum sativum* sont :

- ✓ *Pisum elatius* Stev, ou *Pisum sativum elatius*, pois sauvage.
- ✓ *Pisum arvense* L, ou *Pisum sativum arvense*, pois des champs ou pois fourrager, reconnaissable à ses fleurs colorées et petites, ses stipules à collerette rouge, ses feuilles à 2-4 folioles, ses graines petites à téguments colorés.
- ✓ *Pisum sativum* L, ou *Pisum sativum hortense* Asch, et Graebn, pois des jardins ou pois potager (petit pois).

Les cultivars protéagineux ont été sélectionnés dans cette espèce et par hybridation *Pisum sativum* x *Pisum arvense*.

Contrairement aux céréales spontanées qui forment dans la nature des peuplements assez denses, le pois se rencontre en plantes isolées, ou en taches, profitant de tout tuteur présent à proximité.

L'appareil souterrain est formé d'un système racinaire à pivot relativement peu développé et à racines secondaires, voire tertiaires ou quaternaires ; la nodulation peut s'effectuer sur ces deux types de racines.

L'appareil aérien est constitué d'une tige principale et de ramifications issues des bourgeons latéraux suite à une levée de dominance apicale, principalement sur les nœuds de la base de la tige principale, Les premiers nœuds sont exclusivement végétatifs, puis les suivants deviennent reproducteurs, chaque étage portant en position axillaire un nombre de fleurs variable (fig 23), mais dont le

nombre maximal est une caractéristique variétale (2 pour les variétés couramment cultivées en Europe). Les gousses issues des fleurs après fécondation autogame de tous les ovules portent un nombre variable de graines dont le maximum est également une caractéristique variétale.

Après émission d'un nombre variable d'étages reproducteurs, l'apex cesse sa croissance sans redevenir végétatif. La floraison peut porter, sur 8 à 15 étages, de 2 ou 3 fleurs par étage. La fleur, longue de 3 à 4 cm, est blanche chez *Pisum sativum* (Boyeldieu, 1991).

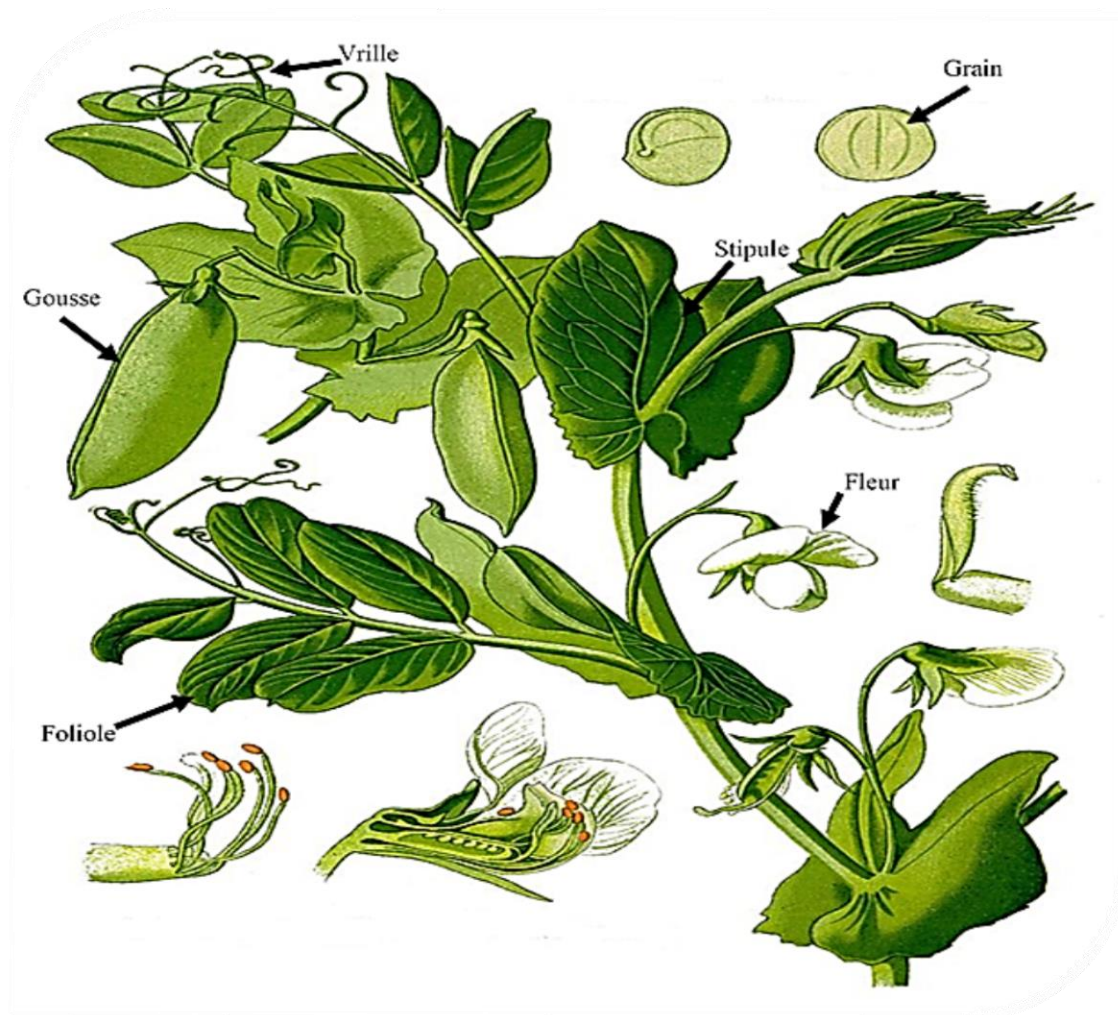


Figure 10. Pois potager (Chaux et Foury, 1994).

IV.3.1.3.1 - Place dans les systèmes de culture

Dans la succession, le pois est considéré comme un excellent précédent, laissant dans le sol un reliquat d'azote de 20 à 50 kg.ha⁻¹. Il est le plus souvent suivi d'un blé, ou de toute autre culture exigeante en azote. En revanche, la minéralisation des fanes conjuguée aux pluies hivernales risque d'entraîner une pollution des nappes par lessivage de l'azote. Pour des raisons sanitaires, on laisse un intervalle d'au moins 4 ou 5 années entre deux cultures de pois sur une même parcelle (Arvalis, 2014).

Dans le calendrier des travaux, le pois laisse le sol libre tôt dans la saison, facilitant l'implantation de la culture suivante. Un pois d'hiver est récolté fin juin, avant les blés, tandis qu'un pois de

printemps mûrit en même temps que les blés d'hiver ou les orges de printemps, Une contrainte dans le choix de la parcelle tient au port de la plante, généralement versée à la récolte, On évite donc les sols caillouteux qui entraînent des incidents.

DEUXIÈME PARTIE
ETUDE EXPÉRIMENTALE



CHAPITRE V – MATERIEL ET MÉTHODES

V.1 - Matériel

V.1.1 - Site expérimental

Le site expérimental se situe à Mostaganem. Selon l'ANDI (2013), la wilaya de Mostaganem se trouve sur le littoral ouest du pays, elle dispose d'une façade maritime de 124 km. Elle est située à 365 km à l'ouest d'Alger et limitée par la Mer Méditerranée au nord et par les wilayas de Chlef à l'est, Mascara et Relizane au sud et Oran à l'ouest (fig 11).

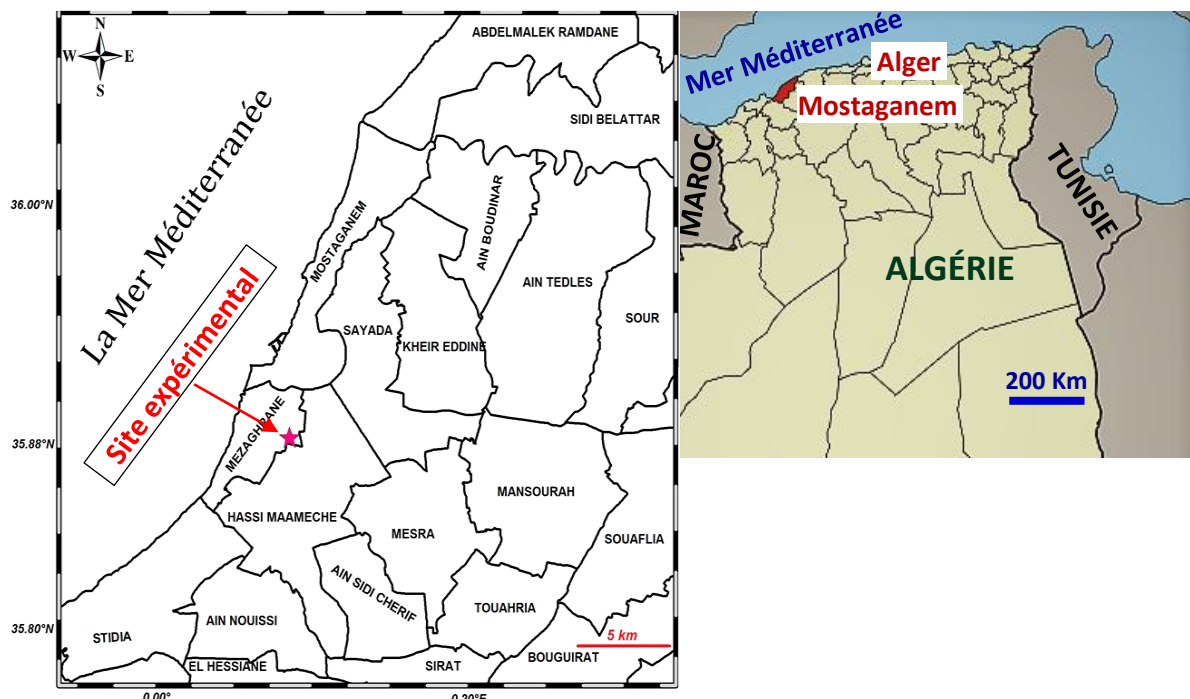


Figure 11. Situation géographique du site expérimental de mazagran (Mostaganem)

L'objectif de ce travail expérimental est de comparer les effets du labour conventionnel (LC) et du semis direct (SD) sur la croissance et le développement d'une culture de blé tendre. Pour cela, deux expérimentations ont été effectuées à la ferme expérimentale du département d'agronomie de l'université de Mostaganem. Cette dernière est à vocation maraîchère, arboriculture fruitière et céréalière et s'étale sur une superficie de 64 ha. Dans ce cas, les paramètres phénologiques et morpho-physiologiques sont suivis sur la plante et les caractéristiques physico-chimiques sur le sol. Les deux essais ont eu lieu respectivement en 2013 et en 2014.

Le site d'expérimentation est particulièrement localisé à Mazagran à environ 5 km au sud-ouest du chef-lieu de la wilaya de Mostaganem (fig 11). Ses coordonnées géographiques sont entre 35°53'27,9"N de latitude, 0°05'03,8"E de longitude et 141 mètres d'altitude.



V.1.2 - Paramètres pédoclimatiques du site

♦ Sol

Afin de déterminer les différents paramètres physico-chimiques du sol, des prélèvements ont été effectués sur une profondeur de 30 cm sur chaque une des parcelles élémentaires à deux reprises au début et à la fin de chaque expérimentation. Les échantillons étaient analysés au laboratoire régional de l'Institut National des Sols de l'Irrigation et du Drainage (INCID) d'El-Matmar-Relizane. Les résultats de caractérisation du sol sont présentés au tableau suivant.

Tableau 7. Caractéristiques physico-chimiques du sol des parcelles expérimentales.

Paramètres physico-chimiques		2012/2013	2013/2014
Granulométrie (%)	Argile	27,06	
	Limon	5,81	
	Sable	67,13	
Texture		Sablo-Argileux-limoneuse	
Matière organique (%)		1,81	0,91
pH		7,34	7,53
CE _{esp} (dS.m ⁻¹) (extrait de pâte saturée)		0,07	0,06
Calcaire total (%)		1,51	1,73
Densité apparente, da (g.cm ⁻³)		1,38	1,18

La texture est dominée par du sable mais le pourcentage d'argile est important en faveur d'une bonne rétention en eau du sol. Le taux de MO est relativement faible parce que la parcelle d'étude n'est pas irriguée et aussi du fait de l'aridité du climat. Le pH est proche de la neutralité ce qui est favorable à la culture. Les valeurs de la conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée montrent qu'il n'y a aucun risque de stress salin pour la plante. Le taux de calcaire total est faible et la densité apparente subit une légère diminution pour la seconde année.

♦ Climat

La wilaya de Mostaganem se caractérise par un climat semi-aride tempéré en hiver avec une pluviométrie qui varie entre 350 mm sur le plateau et 450 mm sur les piémonts du Dahra (ANDI, 2013). Les données pluviométriques et de températures sont représentées à travers les diagrammes ombrothermiques respectivement pour 2013 et 2014 (fig 12 et 13).

Pour les deux diagrammes, la période sèche qui correspond à des valeurs de la pluviométrie plus grandes que celles des températures s'étalent sur neuf mois de l'année, de février à octobre.

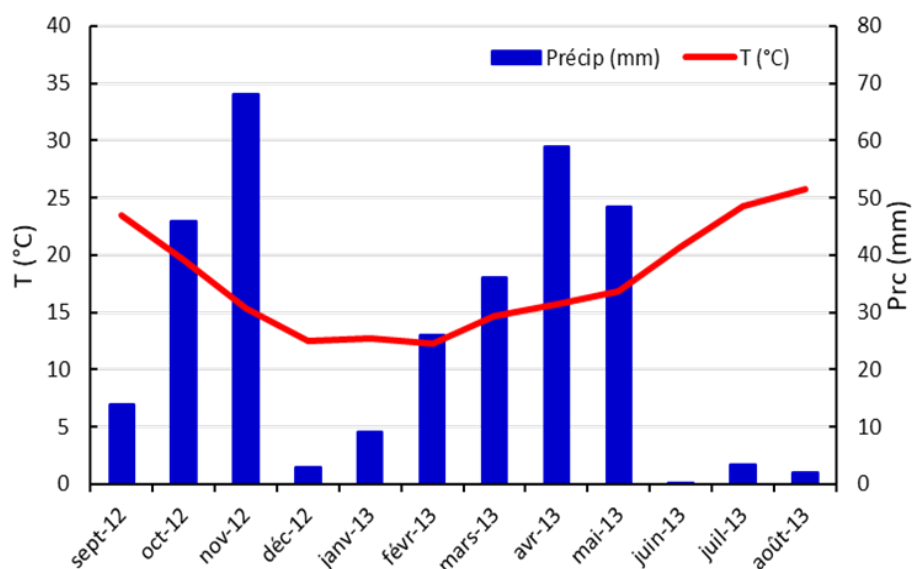


Figure 12. Diagramme ombrothermique de la campagne 1 (Tu Tiempo.net, 2012/2013).

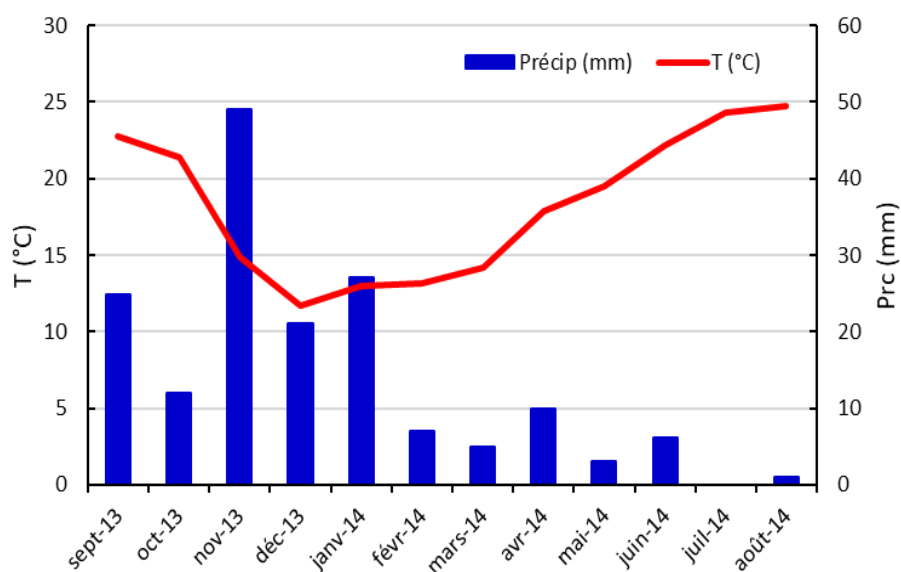


Figure 13. Diagramme ombrothermique de la campagne 2 (Tu Tiempo.net, 2013/2014).

V.1.3 - Matériel de travail du sol, semis et traitement

Pour les besoins de l'expérimentation, nous avons utilisé plusieurs types de matériel agricole :

Un tracteur Cirta 6006 de puissance 60 CV pour effectuer le labour et cover-cropage en utilisant respectivement une charrue tri disques et un cover-crop (8/16) pour la préparation du lit de semence (fig 14).



Figure 14. Charrue tri-disques (à gauche) et Cover-crop 8/16 (à droite) utilisés.



Figure 15. Vue sur l'opération de semis pour le LC (à gauche) et pour le SD (à droite).



Figure 16. Désherbage chimique.



Un tracteur de type Deutz Fahr de puissance 140 CV pour porter le semoir direct durant l'opération de semis. Le semoir est de type SOLA SD 1203 (fig 15).

Un Pulvérisateur porté de capacité 150 litres pour effectuer l'opération de désherbage chimique (fig 16).

V.1.4 - Matériel végétal

La variété de blé tendre que nous avons choisi : Aïn Abid est caractérisée par son adaptation aux conditions pédoclimatiques du pays. C'est une espèce introduite d'Espagne en 1986 sous le code AS 81 189 A. Les caractéristiques de la variété de blé utilisée sont présentées dans le tableau 8. Une espèce de petit pois est utilisée comme culture de rotation durant la seconde campagne d'expérimentation, c'est un génotype ordinaire qui a été acheté dans le marché.

Tableau 8. Caractéristiques agronomiques de la variété Aïn Abid.

Morphologie	Epi de couleur blanche, pyramidal, très tâché. Paille : de taille moyenne et creuse. Grain : de couleur rousse et allongé.
Type de culture	Cycle végétatif : semi-précoce. Tallage : en moyenne 3 à 4 talles par graine.
Comportement aux maladies	Résistante à la rouille noire et jaune.
Caractéristiques technologiques	PMG : élevé. Force boulangère : assez élevée Gonflement : bon. Utilisation : blé panifiable
Productivité	Très bonne
Zones d'adaptation	Hautes plaines et hauts plateaux. Tolérante à la gelée, au froid et à la sécheresse. Résistante à la verse physiologique et l'égrenage.

Source : ITGC, 1987.



Figure 17. Vue sur les tests de faculté germinative du blé tendre et du petit pois.



Pour déterminer la faculté germinative du blé tendre, variété Aïn Abid, nous avons pris au hasard, un échantillon de 100 grains que nous avons mis dans une boîte de pétri contenant du coton humidifié à l'eau de robinet. Après une semaine, les grains germés étaient comptés (fig 17). Le même principe était utilisé avec le petit pois mais avec 50 grains seulement étant donné leur taille. Les résultats du test de germination sont de 98 % pour le blé tendre et 97 % pour le petit pois.

V.2 - Méthodes

V.2.1 - Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est conçu sous forme de blocs complets. Chaque bloc comporte deux traitements : LC et SD. Les parcelles élémentaires de taille ($20 \times 8 = 160 \text{ m}^2$) sont réparties en lignes pour faciliter les opérations culturales (travail du sol et semis) par passage direct du tracteur. Des couloirs de passage sont prévus entre les parcelles élémentaires.

Le dispositif était prévu au départ sous forme de trois blocs comportant chacun deux parcelles menées en SD et une autre en LC. Ce choix était motivé par le fait que le terrain était toujours labouré et qu'il était intéressant de prévoir deux parcelles en SD pour une seule en LC afin de mieux faire apparaître l'approche de comparaison entre les deux techniques culturales (fig 18).

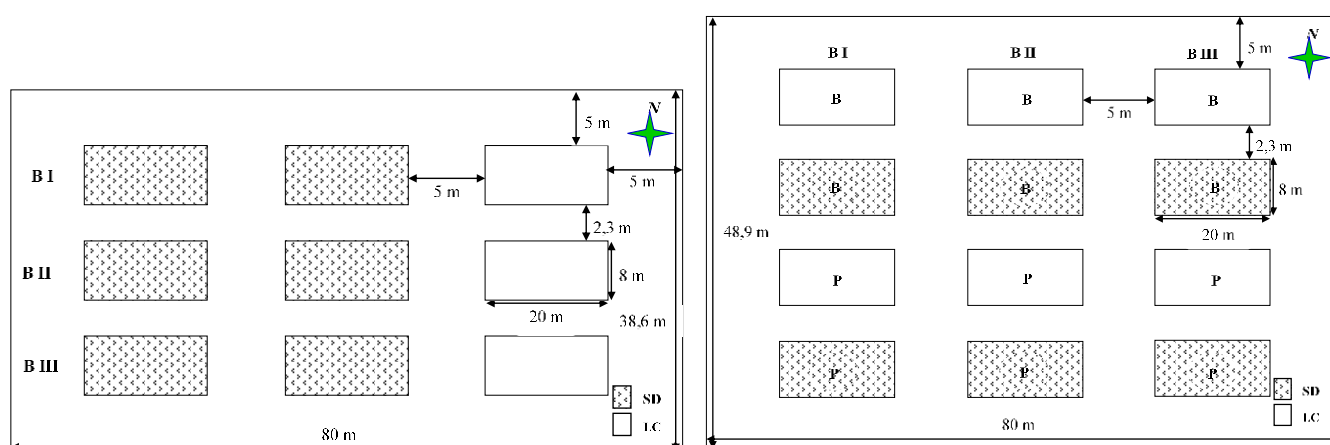


Figure 18. Schéma du dispositif expérimental utilisé pour la première campagne (à gauche) et pour la seconde campagne (à droite) – B : Blé tendre, P : petit pois – B I, B II, B III : Blocs.

Les premiers résultats de cette expérimentation, que nous allons aborder plus loin dans ce document, nous ont permis d'apporter une modification au dispositif. Cette modification consista en l'ajout de trois parcelles élémentaires dans la partie nord du terrain et en l'adoption des blocs dans le sens vertical par rapport à l'essai précédent où ils étaient orientés horizontalement. Il est important de signaler que cette modification n'affecte pas du tout le statut de LC ou de SD des différentes parcelles élémentaires étant donné que durant l'essai précédant les parcelles en SD n'étaient que couvertes par de la paille d'orge pour mettre en relief l'effet de cette dernière sur le comportement hydrique du sol (évaporation).

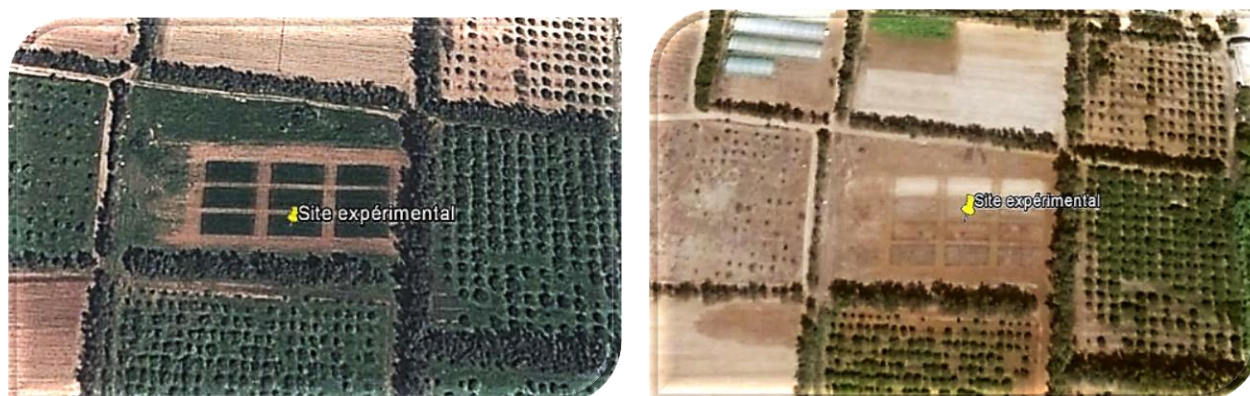


Figure 19. Vues aériennes sur les deux formes du dispositif expérimental, première campagne (à gauche en pleine production) et seconde campagne (à droite après la moisson ; les trois parcelles ajoutées apparaissent en couleur blanche).

Sur le tableau 10 sont présentées les paramètres du semis pour les deux campagnes.

Tableau 9. Paramètres du semis pour les deux campagnes de production du blé.

	<i>Campagne 1 (2012/2013)</i>	<i>Campagne 2 (2013/2014)</i>
Nombre de parcelles	9	12
Ecartement entre lignes (cm)	20	18 pour le Blé ; 36 pour le petit pois
Nombre de lignes/Parcelle	40	44 pour le Blé ; 22 pour le petit pois
Méthode de semis	Manuellement en ligne	Semoir mécanique direct
Surface de l'essai (m ²)	3088	3912

V.2.2 - Labour

Le labour est effectué pour toutes les parcelles en première campagne, et sur les parcelles menées en LC en seconde campagne. Il a été réalisé respectivement les 21 octobre 2012 et le 8 décembre 2013 à une profondeur moyenne de 40 cm avec une charrue à trois disques. L'opération de labour était suivie d'un cover-cropage le 9 décembre 2012 et le 9 janvier 2014 respectivement pour les deux campagnes.

V.1.3 - Semis

Pour le premier essai, le semis était effectué le 10 décembre 2012, de façon manuelle en ligne (fig 20), avec une dose de 2,24 Kg par parcelle (140 Kg.ha⁻¹), sur une profondeur de 3 à 4 cm et un écartement entre-lignes de 20 cm.

Le semis était directement suivi par un recouvrement en paille d'orge sur les parcelles menées en SD à raison de 56 Kg (3,5 t.ha⁻¹) par parcelle (fig 21).

Pour le second essai, le semis était réalisé le 10 janvier 2014, avec un semoir direct en ligne. La dose apportée était de 3,33 Kg par parcelle (208 Kg.ha⁻¹), sur une profondeur de 3 à 4 cm et avec un écartement entre-lignes de 18 cm. Avant d'effectuer le semis, nous avons estimé la quantité des



chaumes sur les parcelles menées en SD de la manière suivante : les chaumes (partie aérienne + racines) sont prélevées sur la ligne de semis de manière aléatoire sur chaque parcelle puis pesées et converties en termes de masse par unité de surface (g.m^{-2}). Le résultat trouvé est de 71 Kg par parcelle ($4,4 \text{ t.ha}^{-1}$).



Figure 20. Semis manuel en ligne (campagne 1).

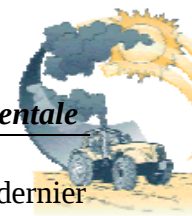


Figure 21. Parcelles du SD couvertes par la paille d'orge (campagne 1).

Le semis de la culture de rotation, le petit pois, était réalisé le 12 janvier 2013, avec le semoir direct et pour une dose de 1,86 Kg par parcelle (116 Kg.ha^{-1}), sur une profondeur de 4 à 5 cm et un écartement entre-lignes de 36 cm.

V.1.4 - Fertilisation

Comme fertilisation, nous avons utilisé un engrais de fond N-P-K (15-15-15) apporté après le semis à raison de 9,6 Kg par parcelle (6 Qx.ha^{-1}) (campagne 1). Pour le second essai la fertilisation



était effectuée après le stade de tallage à raison de 4 Kg par parcelle (2,5 Qx.ha⁻¹). Dans ce dernier cas, l'origine de la baisse de la quantité apportée est liée à la non disponibilité d'engrais en quantité suffisante au niveau de la ferme agricole de l'université.

V.1.5 - Désherbage

Pour le premier essai, vu la densité importante des mauvaises herbes observée dans les parcelles expérimentales, nous avons effectué deux désherbages chimiques (Desormone Lourd D), l'un le 27 janvier 2013 (fig 16) à raison de 0,96 ml.l⁻¹ (0,96 l.ha⁻¹) coïncidant avec le stade de début tallage et le second le 19 février 2013 à raison de 1,25 ml.l⁻¹ (1,25 l.ha⁻¹) correspondant au stade de montaison.

Comme pour le premier, le second essai a subi un premier désherbage chimique (Desormone Lourd D) le 23 février 2014 à raison de 1,25 ml.l⁻¹ (1,25 l.ha⁻¹) coïncidant toujours avec le stade de début tallage et un deuxième désherbage le 09 mars 2014 avec la même dose que la précédente correspondant aussi au stade de montaison.

Pour la culture de petit pois, nous avons effectué un désherbage manuel durant tout le cycle de la plante.

Plusieurs désherbages mécaniques à l'aide du cover-crop étaient réalisés sur les voies de passages entre les parcelles expérimentales dans le cas des deux essais.

V.1.6 - Récolte

La récolte a été réalisée de façon manuelle sur trois mètres suivant la ligne de semis pour chaque parcelle élémentaire. Elle eut lieu pour la première campagne le 04 juin 2013, pour la seconde le 1^{er} juin 2014.

V.3 - Méthodes d'analyses

V.3.1 - Paramètres physico-chimiques du sol

V.3.1.1 - Humidité du sol (H%)

L'humidité du sol est déterminée selon la méthode gravimétrique par différence du poids de l'échantillon avant et après passage à l'étuve à 105°C pendant 24 heures.

La teneur en eau se calcule par la formule suivante (Petard, 1993 ; Duchaufour, 1997) :

$$H\% = \frac{(P_F - P_S)}{P_S} \times 100$$

avec H% : humidité du sol (%) ; P_F : poids frais (g) ; P_S : poids sec (g)

V.3.1.2 - Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique exprimée en (dS.m⁻¹) a été mesurée à l'aide d'un conductimètre sur un extrait dilué au 1/5 (Aubert, 1978).



V.3.1.3 - Potentiel d'hydrogène (pH)

Dans un bécher, 10 g de sol tamisé sont mélangés à 100 ml d'eau distillée. La mesure du pH est effectuée après dix minutes d'homogénéisation à température ambiante à l'aide d'un pH mètre (Albrecht, 2007).

V.3.1.4 – Calcaire total ($\text{CaCO}_3\%$)

Le calcaire total est dosé par la méthode du calcimètre de Bernard (Aubert, 1978).

V.3.1.5 - Taux de matière organique (MO)

Le taux de matière organique est dosé par la méthode d'Anne par oxydation au bichromate de potassium en milieu sulfurique. L'excès de bichromates de potassium est titré par une solution de sel de Mohr en présence de diphénylamine. La matière organique est obtenue par la formule suivante : $\text{MO}\% = \text{C}\% \times 1,72$ (Aubert, 1978).

V.3.2 - Paramètres morpho-physiologiques du matériel végétal

V.3.2.1 - Stades phénologiques

- ✓ Levée (blé et petit pois) : commence quand 50% des plantules émergent et la première feuille pointe au grand jour son limbe.
- ✓ Epiaison (blé) : ce stade est atteint lorsque 50% des épis sortent complètement de leurs gaines.
- ✓ Floraison (petit pois) : correspond à 50% des plants fleuris.
- ✓ Maturation (blé et petit pois) : ce stade se manifeste au moment où le grain atteint un taux d'humidité optimal de près de 13 à 14%.

V.3.3 - Paramètres morphologiques

Les mesures sont faites sur 3 plants choisis aléatoirement dans chaque parcelle élémentaire.

- ✓ La hauteur des plants (blé et petit pois) est mesurée avec un mètre ruban chaque quinzaine pour le premier essai et hebdomadairement pour le second essai.
- ✓ La surface foliaire (SF) est évaluée hebdomadairement à partir du stade de fin-tallage jusqu'au début d'épiaison pour le blé et au stade de ramification jusqu'au stade de début-floraison pour le petit pois. Pour le premier essai nous avons utilisé la formule décrite Bonhomme *et al*, (1982) selon la relation suivante :

$$\text{SF (cm}^2\text{)} = L_{\text{max}} \times l_{\text{min}} \times 0,75$$

avec L_{max} et l_{min} : respectivement longueur et largeur maximales de l'avant dernière feuille ; 0,75 facteur de multiplication.



Pour le second essai, SF est obtenue à l'aide du logiciel Adobe Photoshop CC qui permet d'analyser les photos des feuilles suite à leur numérisation par un scanner de type Lide 25.

✓ La biomasse végétale aérienne (blé et petit pois) est estimée en prélevant des plants coupés au ras du sol sur trois mètres suivant la ligne de semis choisis aléatoirement dans chaque parcelle élémentaire (Klein *et al.*, 2014).

✓ Le taux de la matière sèche (MS) pour les deux cultures est évalué en prélevant aléatoirement trois plants entiers dans chaque parcelle élémentaire. Ces derniers sont pesés immédiatement pour obtenir leurs poids frais (PF) en grammes. Le poids sec des plants (PS) en grammes est obtenu après passage à étuve à 105°C pendant 24 heures. Le MS est obtenu par la relation suivante (Jacquemin, 2012) :

$$\text{MS (\%)} = \frac{\text{PS}}{\text{PF}} \times 100$$

✓ La teneur relative en eau des plants TRE ou RWC en % pour les deux cultures est déterminée selon la méthode rapportée par Weatherley, 1950 ; Catsky, 1974a ; Turner, 1981. Elle est estimée sur la partie aérienne des plants selon la formule suivante :

$$\text{RWC (\%)} = \frac{(\text{PF} - \text{PS})}{(\text{PT} - \text{PS})} \times 100$$

avec PF : poids frais (g) ; PT : poids en turgescence (g) et PS : poids sec (g)

V.3.4 - Composantes du rendement

✓ Nombre de plants.m⁻² (blé et petit pois) : le comptage des plants est effectué au stade 3-4 feuilles sur 3 mètre linéaire pris au hasard dans chaque parcelle élémentaire.

✓ Nombre de talles.m⁻² (blé) : évalué avec la même méthode que le nombre de plants au stade fin-tallage.

✓ Nombre de ramifications (pois) : ce paramètre est effectué à la fin du cycle végétatif de la culture sur 3 mètres linéaires choisis aléatoirement.

✓ Nombre d'épis.m⁻² (blé) : le comptage des épis est effectué sur 3 mètres choisis aléatoirement le long de la ligne de semis dans chaque parcelle élémentaire.

✓ Nombre de gousses (pois) : le comptage des gousses est réalisé à la fin du cycle végétatif de la culture.

✓ Nombre de grains.épi⁻¹ (blé) : le comptage est réalisé au stade maturité de la culture sur 3 épis pris au hasard dans chaque parcelle élémentaire.

✓ Nombre de grains.gousses⁻¹ (pois) : 3 gousses sont choisies au hasard dans chaque parcelle élémentaire à partir desquelles on compte le nombre de grains.



✓ Poids de mille grains (PMG) pour les deux cultures : obtenu par pesée, à la suite de la récolte, de 1000 grains dans chaque parcelle élémentaire pour le blé et 500 grains pour le petit pois.

✓ Rendement en grain (blé et pois) : par prélèvement aléatoire de trois 3 bottillons le long d'un mètre de la ligne de semis dans chaque parcelle élémentaire. Les épis sont séparés de leurs tiges pour le blé et les grains de leurs gousses pour le petit pois et ensuite pesés.

✓ Rendement en paille (blé et pois) : dans ce cas les tiges sont séparées de leurs épis pour le blé et les gousses sont supprimées de leurs tiges pour le petit pois avant d'être pesés.

V.4 - Analyse statistique

Les résultats obtenus sont soumis à une analyse statistique à l'aide du logiciel Stat Box (version 6.40) par comparaison multiple du test de Duncan (1955) à $P < 0,05$.

TROISIÈME PARTIE

RÉSULTATS ET DISCUSSION



CHAPITRE VI – EFFETS DU LABOUR CONVENTIONNEL ET DU SEMIS DIRECT SUR LES PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES ET HYDRIQUES D'UN SOL DU PLATEAU DE MOSTAGANEM

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats des effets du LC et du SD sur les propriétés physico-chimiques et hydriques du sol étudiées. Les résultats sont présentés dans l'ordre chronologique. Le premier essai était effectué durant la période allant d'octobre 2012 à juin 2013 (campagne 1) et le second durant la période s'étalant de décembre 2013 à juin 2014 (campagne 2).

VI.1 - Conductivité électrique (CE)

Les résultats de la conductivité électriques expriment des moyennes supérieures pour les parcelles conduites en LC pour la culture du blé en seconde campagne et le petit pois (fig 22) par rapport au parcelles menées en SD. Dans ce cas les pourcentages d'augmentation sont respectivement 25 et 13,2%. Pour la première campagne les parcelles conduites en SD enregistrent des valeurs élevées par rapport à celles menées en LC avec un pourcentage de 9,6%.

La mise en examen des différents prélèvements réalisés ne nous montre aucune différence significative pour ce paramètre entre les deux systèmes de culture.

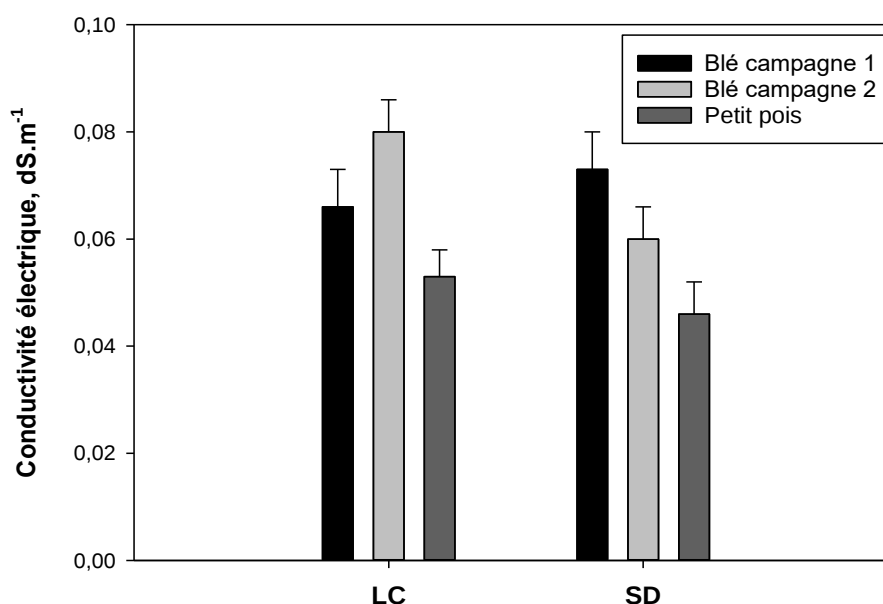


Figure 22. Conductivité électrique pour les deux systèmes de culture LC et SD.

VI.2 - Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH des parcelles conduites en LC durant les deux campagnes affiche des valeurs proches pour les deux cultures de blé et de petit pois (fig 23).

L'analyse de variance pour le pH ne révèle pas des différences significatives entre les deux techniques culturales.

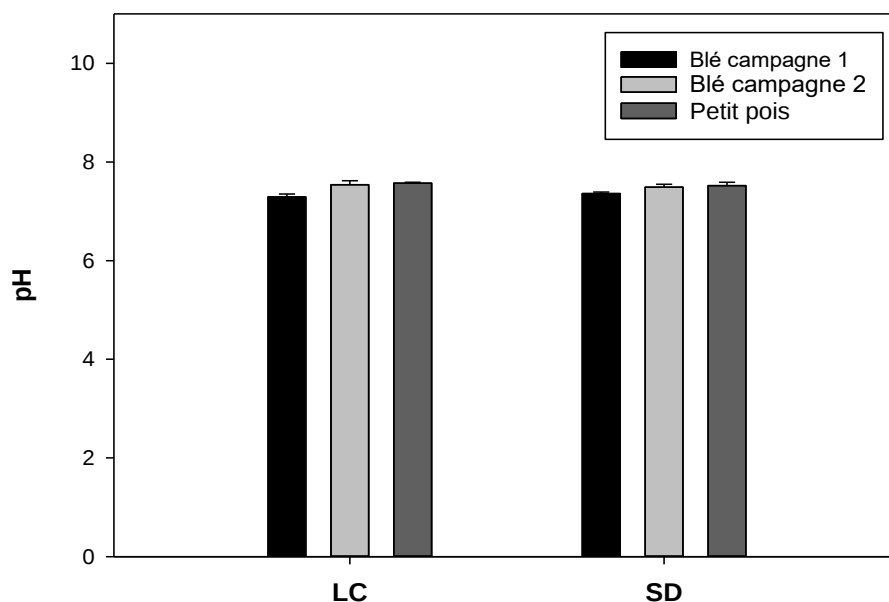


Figure 23. pH pour les deux systèmes de culture LC et SD.

VI.3 - Calcaire total ($\text{CaCO}_3\%$)

Les résultats du calcaire total illustrent des moyennes supérieures en faveur des parcelles conduites en LC en seconde campagne pour le blé et le petit pois par rapport à celles menées en SD (fig 24), avec des taux d'accroissement respectifs de 43,09 et 62,42%. Pour la première campagne, la culture de blé enregistre des valeurs importantes en parcelles menées en SD par rapport à celles conduites en LC, avec un pourcentage d'augmentation de 54,6%. L'analyse statistique ne montre pas des différences significatives entre le LC et le SD pour les deux campagnes.

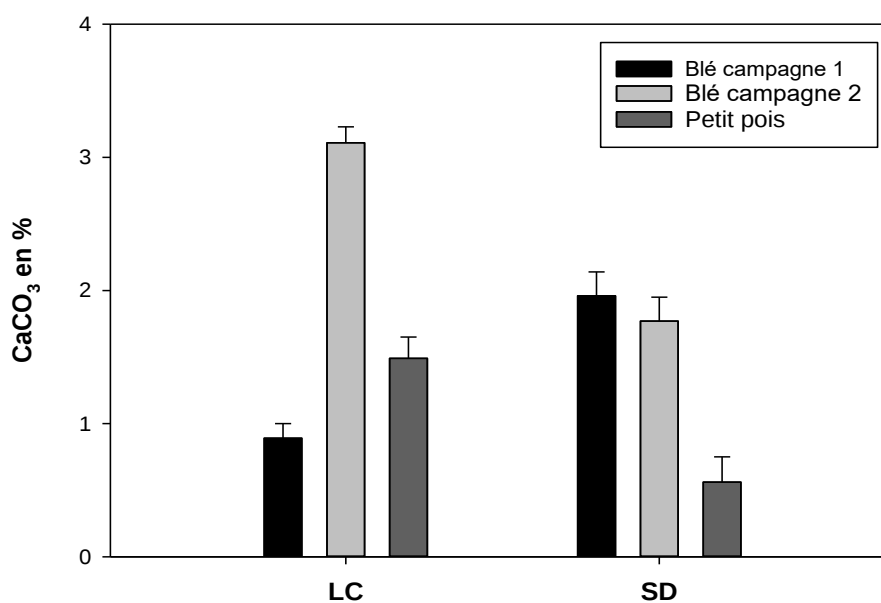


Figure 24. Calcaire total (%) pour les deux systèmes de culture LC et SD.



VI.4 - Matière organique du sol (MOS)

Les résultats du taux de matière organique du sol enregistrent des moyennes supérieures pour les parcelles conduites en SD pour la culture de blé en première campagne (fig 25) et pour la culture de petit pois en seconde campagne par rapport aux parcelles menées en LC. Les différences sont respectivement de l'ordre de 22,4 et 12,8%. A contrario, la seconde campagne, la culture de blé affiche des résultats importants en faveur des parcelles menées en LC (fig 25) par rapport à celles conduites en SD, avec un taux d'accroissement de 56,6%. Les analyses statistiques de la matière organique du sol, ne révèlent aucun résultat significatif, entre les deux systèmes culturaux.

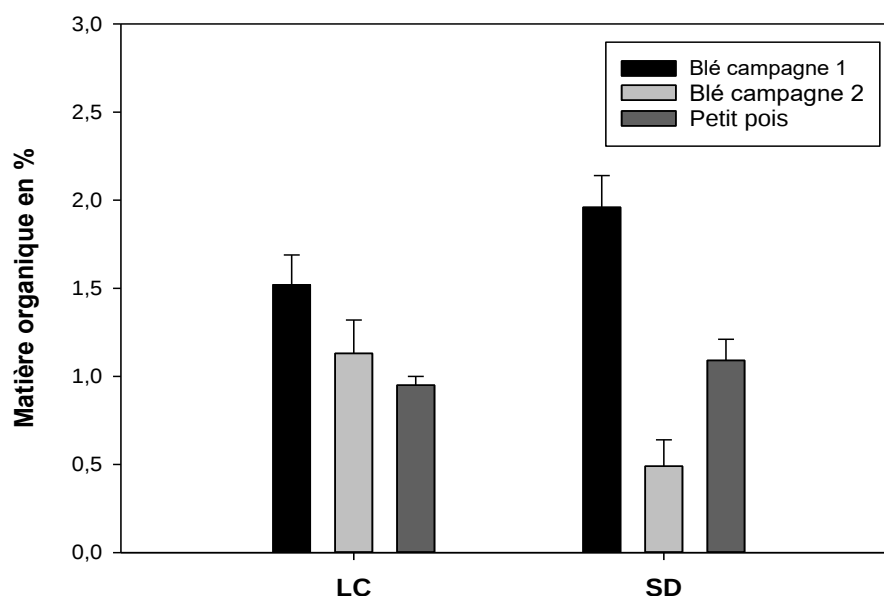


Figure 25. Taux de matière organique du sol (MOS) pour les deux systèmes de culture LC et SD.

VI.5 - Humidité du sol (H%)

Les résultats de l'humidité du sol pour les deux techniques culturales, le labour conventionnel et le semis direct sont présentés pour les deux cultures dans la figure 26.

La première campagne était soumise, de manière globale, à des précipitations qui ont marqué l'ensemble du cycle de la culture avec un total de 295,4 mm sachant que la moyenne annuelle de la région varie entre 350 et 450 mm. Dans ce cas, l'évolution de l'humidité du sol montre des valeurs plus élevées en SD par rapport au LC et se présente en trois étapes. La première étape, relative aux deux premiers mois du cycle, se manifeste par des taux d'humidité variant de 12 à 15%. Cela coïncide avec les grandes quantités pluviométriques relevées durant les mois de janvier et février.

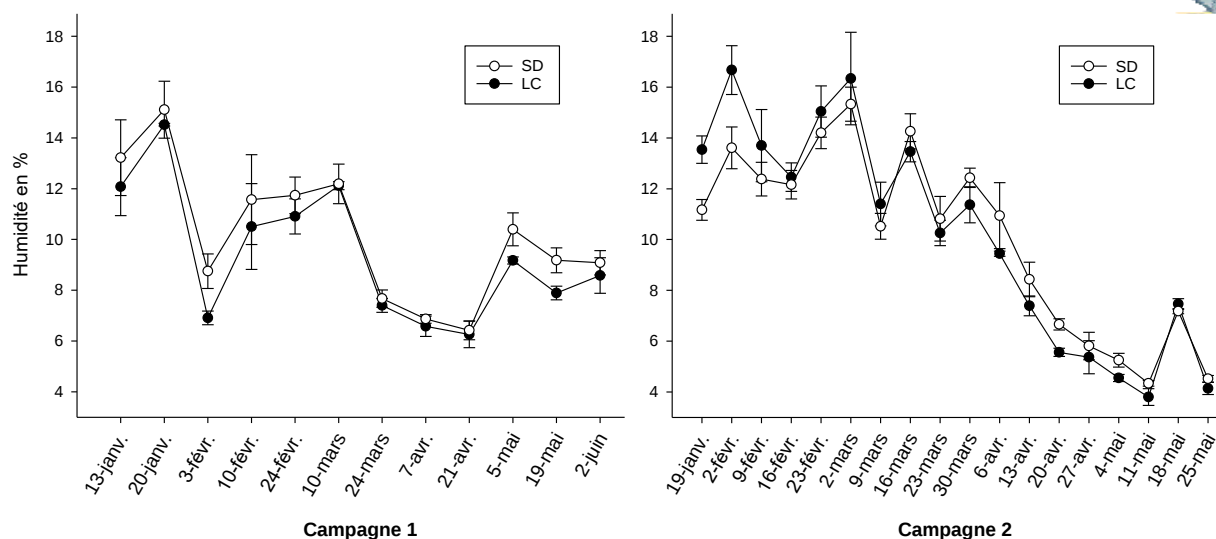


Figure 26. Courbes d'évolution de l'humidité du sol au cours du cycle végétatif de la culture de blé durant les deux campagnes.

La seconde étape qui s'étale de mars à avril, enregistre une diminution de la teneur en eau du sol. Dans ce cas, l'humidité du sol ne semble pas enregistrer des différences importantes entre les parcelles menées en LC et celles menées en SD. La troisième étape répartie sur une portion du mois d'avril et le mois de mai se manifeste par une augmentation de l'humidité du sol coïncidant avec un retour des pluies. Durant cette phase du cycle de la plante, l'humidité du sol dans les parcelles menées en SD est plus importante que celles menées en LC. Dans ce cas, il est important de remarquer que la température à augmenter relativement par rapport aux deux étapes précédentes, ce qui permet une meilleure expression de l'effet du paillage par rapport au phénomène d'évaporation.

L'analyse statistique, révèle que les différences entre les deux systèmes de culture ne sont pas significatives. Cela est vraisemblablement lié aux conditions climatiques notamment l'effet combiné de la pluviométrie en hausse et de la température en baisse qui ne permet pas une différenciation de l'humidité du sol entre le LC et le SD.

Pour la seconde campagne, les résultats du suivi de l'humidité du sol (fig 26), montrent qu'elle fluctue en fonction des précipitations. Les données dévoilent que les parcelles conduites en LC sont plus humides que celles menées en SD durant la première phase de la culture de janvier à la mi-mars. Au-delà de cette date, l'humidité du sol dans les parcelles menées en SD sont plus élevées que celles menées en LC. Cette seconde phase du cycle de la culture est caractérisée par des températures relativement plus importantes et des précipitations de plus en plus rares par rapport à la première phase. A la fin de cette phase, à partir du 11 mai, les données de l'humidité sont faibles et se superposent pour les deux systèmes de culture.

Les résultats de l'humidité du sol obtenues pour la culture du petit pois (fig 26), montrent des moyennes proches entre les deux systèmes de culture. Néanmoins, il apparait clairement deux phases



dans l'évolution de ce paramètre. La première s'étale de janvier à la fin de mars, caractérisée par une humidité moyenne élevée et la seconde qui concerne les mois d'avril et mai enregistrant des humidités faibles. L'écart entre les humidités du sol dans les deux formes de conduite en LC et en SD étant faible, il est nécessaire de le rapporter en termes de volume d'eau par rapport à une masse de sol en vue de mieux faire apparaître la différence.

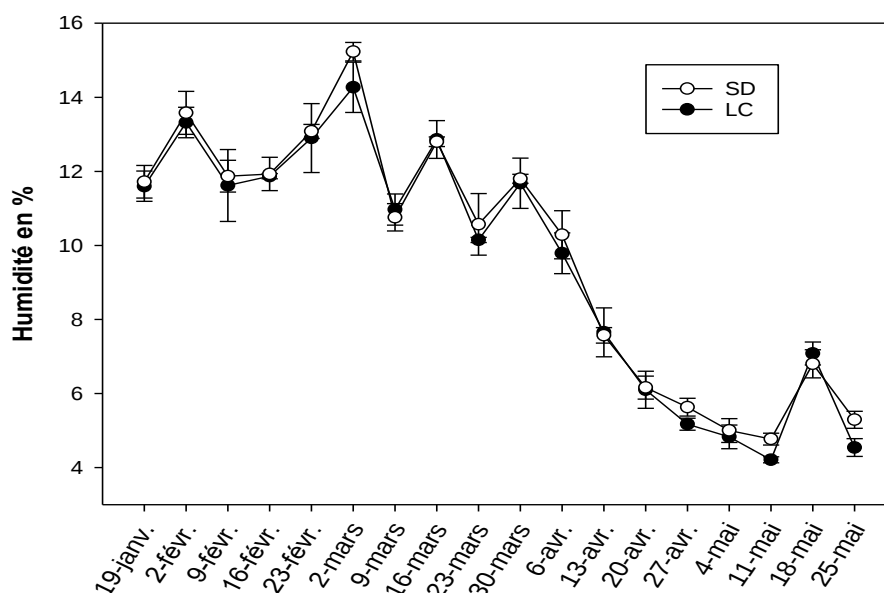


Figure 27. Courbe d'évolution de l'humidité du sol au cours du cycle végétatif de la culture de petit pois (campagne 2).

VI.6 - Evolution de l'indice de l'eau

Pour la culture du blé durant la première campagne, les résultats de l'indice d'eau (I_e), différence en grammes d'eau par 100 g de sol entre les échantillons de SD et ceux du LC (fig 28) :

$$I_e = 100 (H_{SD} - H_{LC}) \text{ avec } I_e : \text{indice d'eau en grammes par 100 g de sol}$$

H_{SD} : teneur en eau en SD

H_{LC} : teneur en LC

montrent des variations liées à la pluviométrie et à l'évaporation. Après chaque pluie, I_e augmente pour diminuer au fur et à mesure du dessèchement du sol. Ce qui montre que les parcelles couvertes en paille gardent leurs humidités plus longtemps que celles menées en labour conventionnel suite aux fluctuations successives en pluviométrie et en températures.

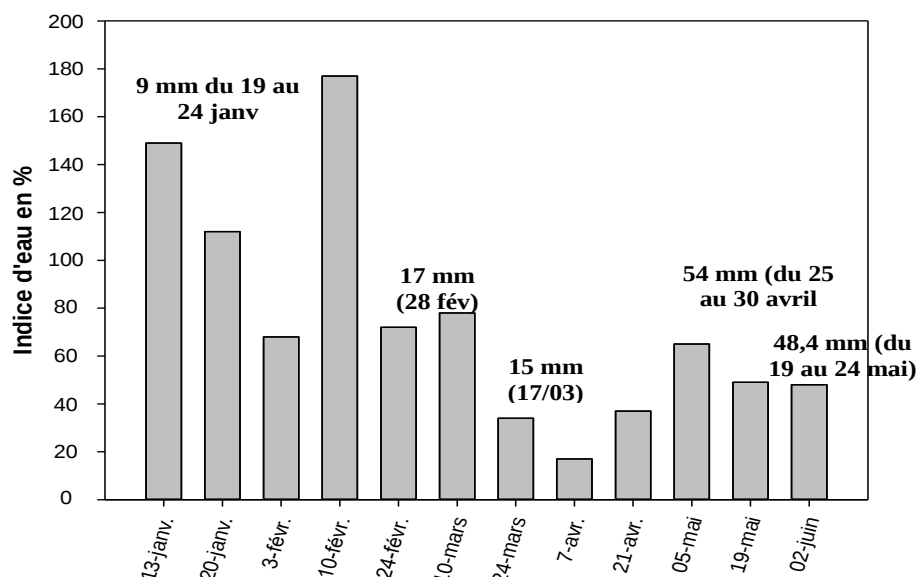


Figure 28. Indice d'eau en % [$I_e = 100 (HSD - HLC)$] du sol durant la campagne 1 du blé.

A titre d'exemple, le mois de mai se caractérise par des températures importantes (tab 10), entraînant une évaporation intense qui explique en partie la chute de I_e malgré un chevauchement avec une quantité de précipitations de 48,40 mm par rapport au mois de février.

Tableau 10. Evolution des précipitations et des températures moyennes durant le cycle de la plante (campagne 1).

Mois	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai
Préci (mm)	03	09	26	36	59	48,40
T° Moy (°C)	12,45	12,73	12,20	14,71	15,70	16,98

Pour la seconde campagne durant la période précédant le 16 mars 2014 (fig 29), la différence en grammes d'eau par 100 g de sol entre le SD et le LC (I_e) est négative. Cela veut dire que les valeurs de l'humidité massique des parcelles menées en labour conventionnel sont plus importantes que celles enregistrées sur les parcelles menées en semis direct.

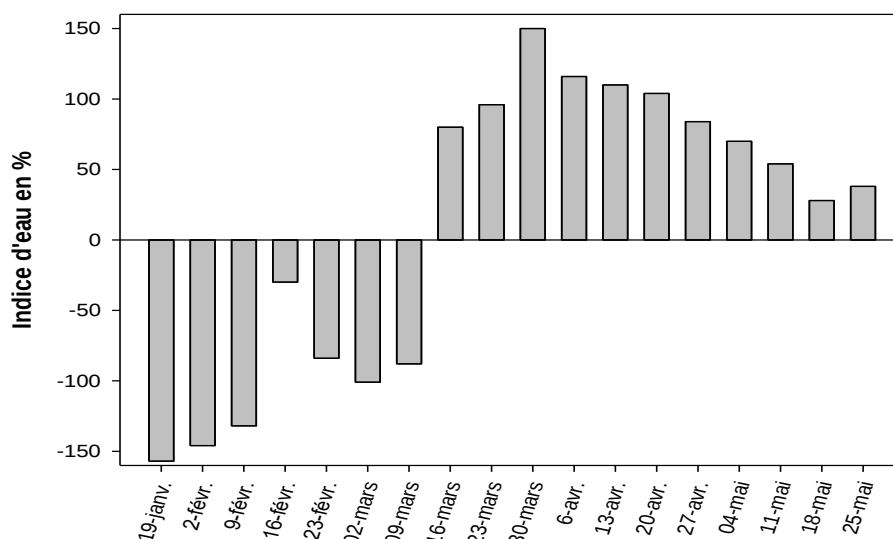


Figure 29. Indice d'eau en % [$I_e = 100 (HSD - HLC)$] du sol durant la campagne 2 du blé.



Tableau 11. Evolution des précipitations et des températures moyennes durant le cycle de la plante (campagne 2).

	Période entre 19 janvier et 16 mars ← →			Période entre 16 mars et 25 mai ← →		
Mois	Janvier	Février	Mars	Mars	Avril	Mai
Préci (mm)	25	07	04	01	10	03
T° Moy (°C)	13,20	13,13	12,70	14,60	17,90	18,70

La période allant de janvier à mars est marquée par des précipitations courantes et des températures basses (tab 11). Cette évolution est inversée au cours de la période allant au-delà du 16 mars, où l'e est positive. Dans ce cas, les valeurs de l'humidité du sol sont plus importantes pour le SD que pour le LC. En outre, cette période se caractérise par des pluviométries faibles et des températures élevées (tab 11).

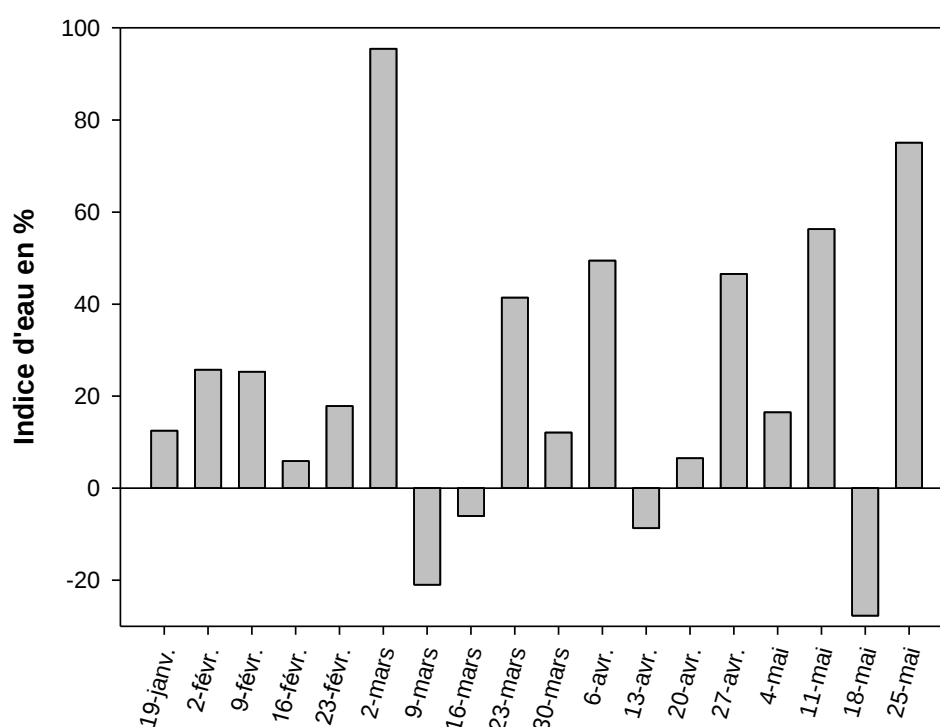


Figure 30. Indice d'eau en % [$I_e = 100 (HSD - HLC)$] du sol durant la campagne 2 du petit pois.

Pour le petit pois, l'e entre le SD et le LC, montre (fig 30), des valeurs en grande majorité positives. Ce qui veut dire que l'humidité du sol est plus importante dans les parcelles menées en SD que celles menées en LC. Les quatre valeurs négatives de l'e coïncident avec des précipitations survenues juste avant la date du prélèvement des échantillons de sol accompagnées par des chutes brusques de températures.



CHAPITRE VII – EFFETS DU LC ET DU SD SUR LES PROPRIÉTÉS ECOPHYSIOLOGIQUES DU BLE TENDRE ET DU PETIT POIS

VII.1 - Paramètres phénologiques

VII.1.1 - Date de levée

Les données de la date de levée (fig 31), montrent que l'effet de la technique de LC semble favoriser la date de levée pour le blé durant la deuxième campagne (10 JAS) et le petit pois (16 JAS). Cependant, l'effet du SD entraîne une précocité pour le blé au cours de la première campagne (11,5 JAS). L'analyse statistique pour les deux campagnes révèlent des résultats significatifs à hautement significatifs des variations entre le SD et le LC (tab 16, ann 1).

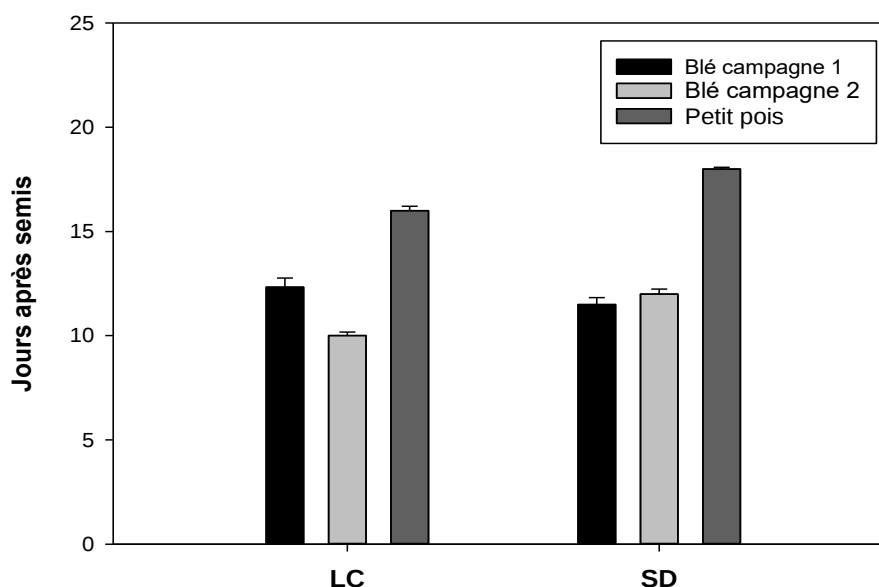


Figure 31. Date de levée du blé et du petit pois pour les deux systèmes de culture LC et SD.

VII.1.2 - Dates d'épiaison (blé) et de floraison (petit pois)

Les résultats des dates d'épiaison pour le blé respectivement pour les deux campagnes et le petit pois (fig 32), montrent une précocité pour le blé et le petit pois menés en SD respectivement pour la première et la seconde campagne. En effet, ce paramètre est favorable pour le LC pour le blé durant la seconde campagne.

L'analyse de variance pour ce paramètre (tab 17, ann 1) montre des résultats très hautement significatifs pour le blé (campagne 1) et petit pois (campagne 2). Cependant, des résultats non significatifs pour le blé en campagne 2.

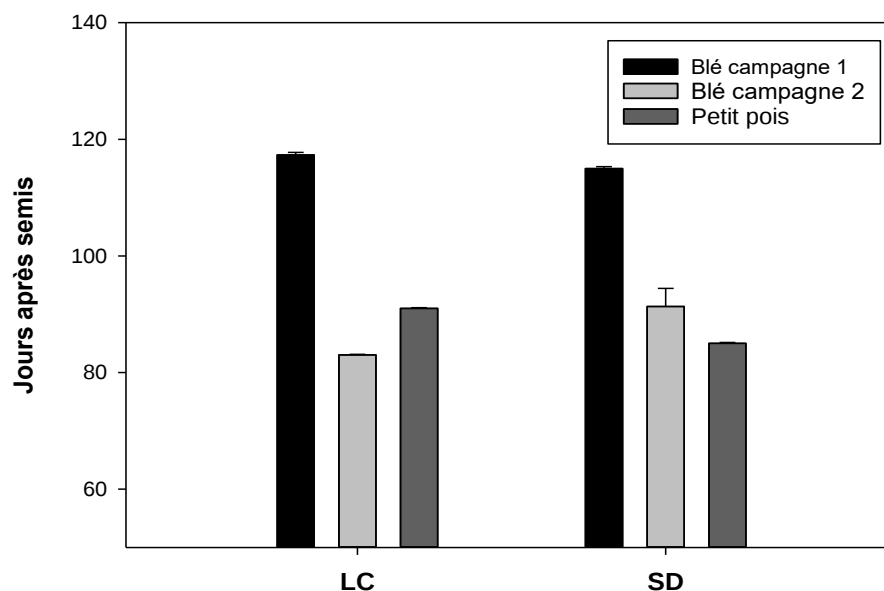


Figure 32. Dates d'épiation du blé et du petit pois pour les deux systèmes de culture LC et SD.

VII.1.3 - Date de maturité

Les résultats de la date de maturité pour les deux cultures et les deux campagnes (fig 33), expriment que sur les parcelles menées en SD, le cycle des deux cultures est plus long. Ceci est vraisemblablement lié au statut hydrique du sol relativement plus humide par rapport aux parcelles menées en LC du fait de la présence du couvert végétal.

L'analyse statistique pour les deux campagnes, révèle des résultats hautement significatifs à très hautement significatifs pour les deux campagnes entre le SD et le LC.

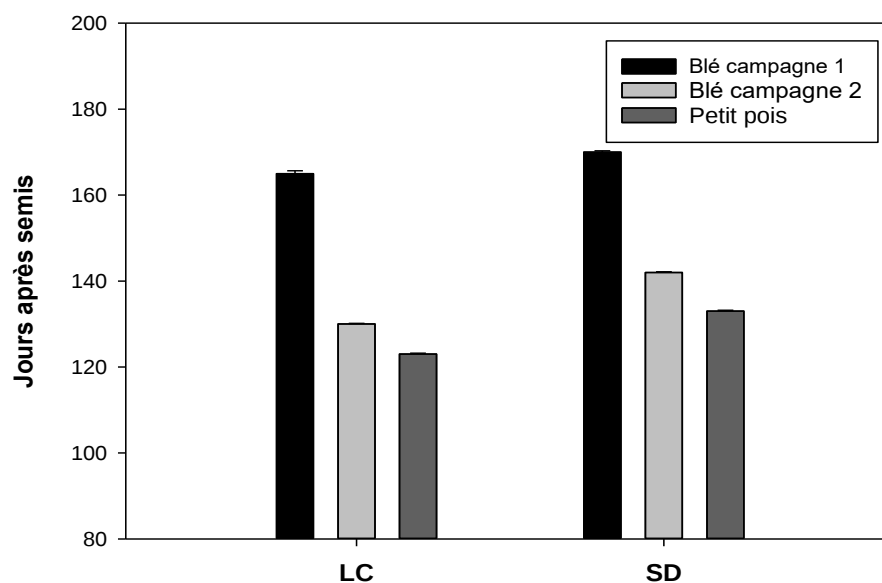


Figure 33. Date de maturation du blé et du petit pois pour les deux systèmes de culture LC et SD.



VII.2 - Paramètres morpho-physiologiques

VII.2.1 - Hauteur des plants

Les résultats de l'évolution de la hauteur des plants pour le blé durant la première campagne (fig 34a), illustrent des évolutions semblables entre le SD et le LC avec des différences insignifiantes. Pour la campagne 2, cette évolution est favorable pour le blé installé dans les parcelles menées en LC (fig 34b). Dans le cas de la culture de petit pois, la situation est inversée au profit des parcelles menées en SD qui enregistrent les plus grandes valeurs de la hauteur des plants (fig 34c). L'analyse de la variance ne révèle aucune différence significative pour le blé (campagne 1) et le petit pois (campagne 2) entre les deux systèmes de culture. En revanche, la culture de blé en seconde campagne est divisée en deux phases. La première réalisée entre le premier prélèvement et le cinquième, ne montre pas des différences significatives. A contrario, à partir du sixième prélèvement l'écart se creuse entre les deux techniques culturales et les résultats deviennent significatifs.

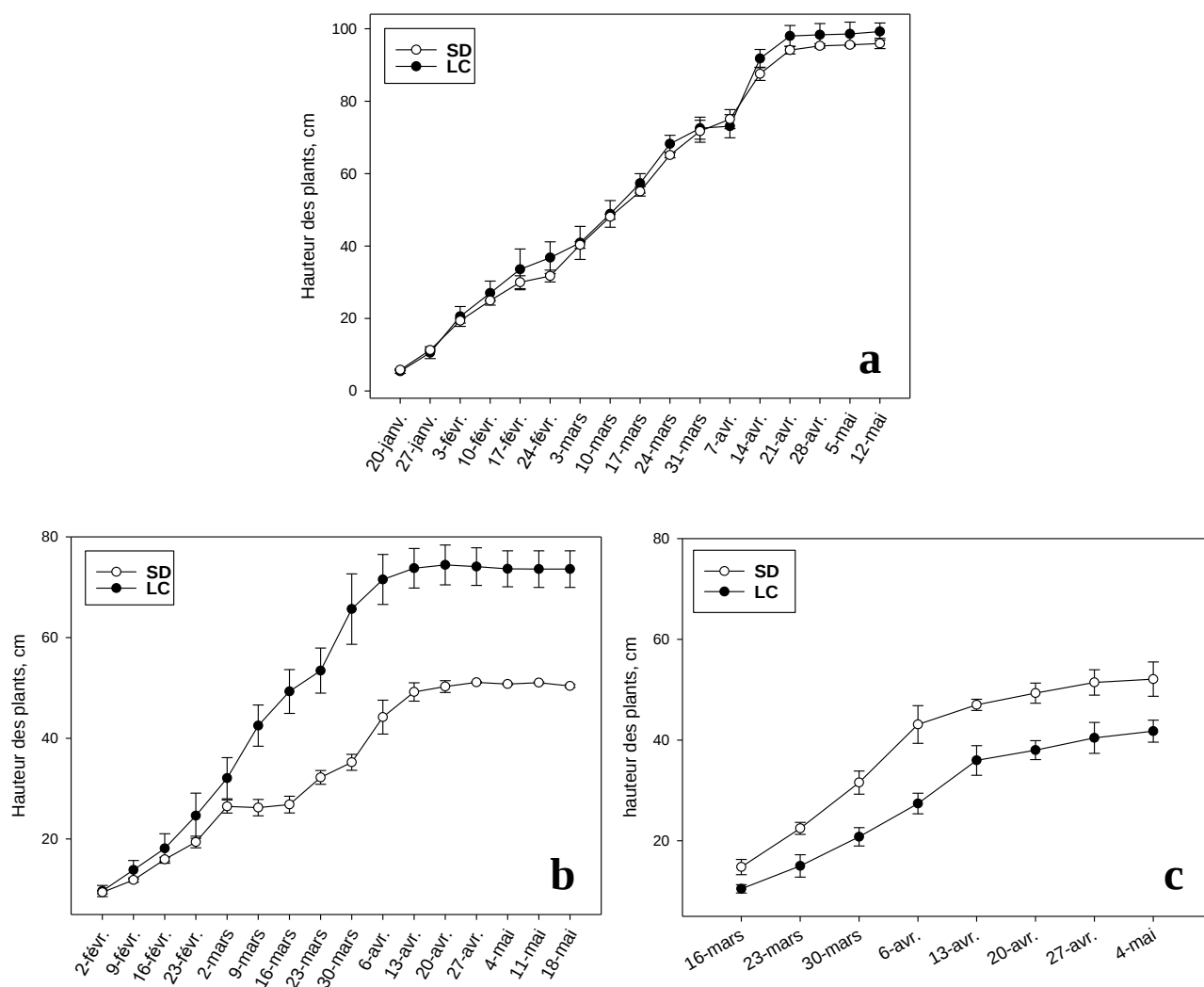


Figure 34. Evolution de la hauteur des plants entre les deux systèmes de culture LC et SD : (a) blé campagne 1, (b) blé campagne 2 et (c) petit pois.



VII.2.2 - Surface foliaire

Les résultats de la surface foliaire pour le blé (campagne 1) et le petit pois (campagne 2), révèlent des valeurs plus importantes pour la conduite en SD par rapport à celle en LC (fig 35a et c). Durant la seconde campagne, le blé affiche les plus grandes valeurs de ce paramètre dans les parcelles menées en LC (fig 35b). Au cours de la première campagne, le blé enregistre des valeurs faibles de la surface foliaire durant le stade de montaison par rapport au stade épiaison. Pour la seconde campagne, l'évolution de la surface foliaire commence par des valeurs plus importantes correspondant au stade de montaison par rapport à celles enregistrées en fin de cycle durant le stade de maturation.

L'analyse de la variance pour la première campagne ne montre pas de différences significatives entre les deux systèmes de culture. Pour la seconde campagne, les différences sont significatives à très hautement significatives entre les deux techniques et pour les deux cultures étudiées.

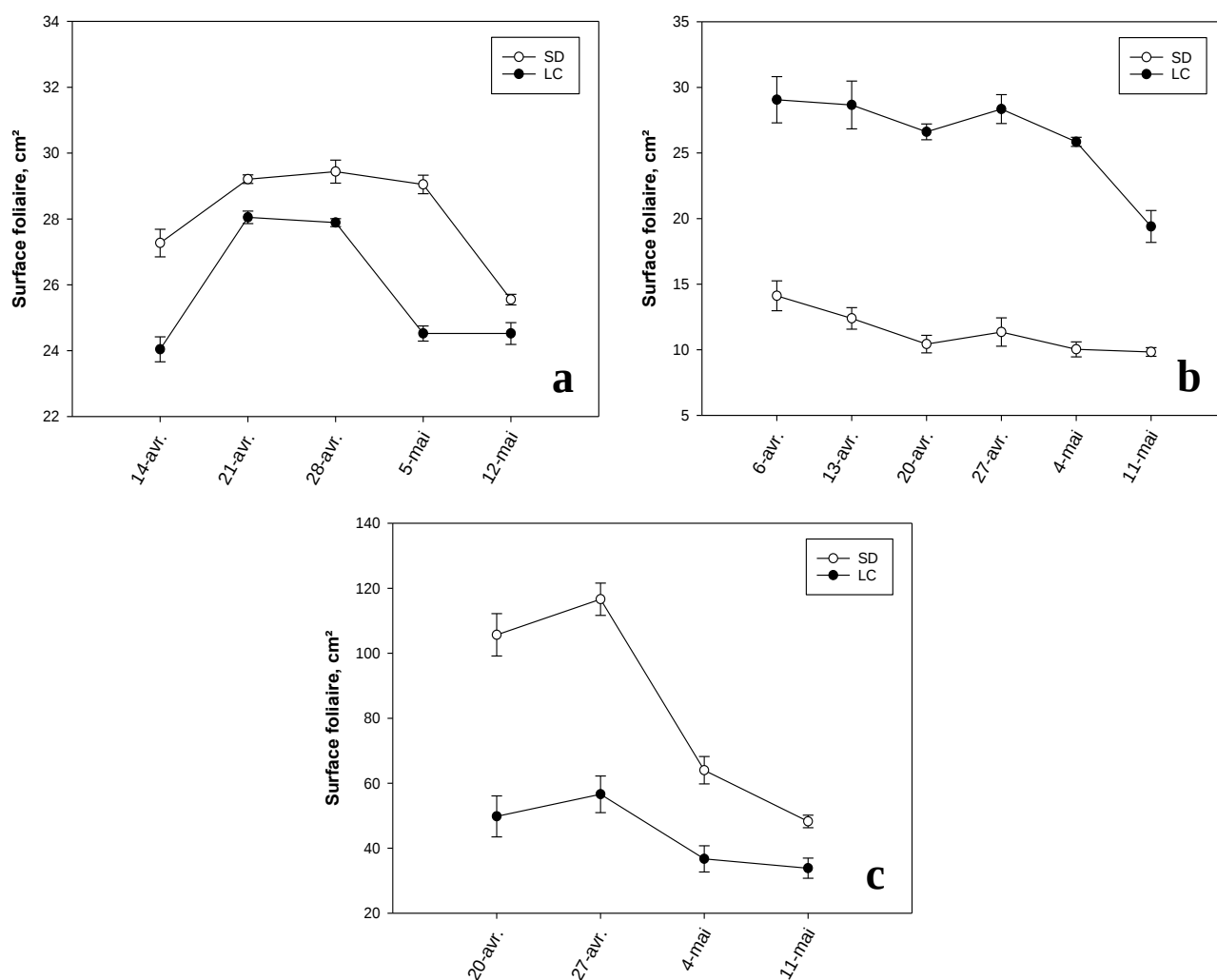


Figure 35. Surface foliaire pour les deux systèmes de culture LC et SD : (a) blé campagne 1, (b) blé campagne 2 et (c) petit pois.



VII.2.3 - Biomasse végétale

Les résultats de la biomasse végétale aérienne produite montrent des valeurs plus importantes pour la culture du blé menée en LC par rapport au SD durant la seconde campagne avec une différence de près de 52% (fig 36). Le blé pour la première campagne et le petit pois enregistrent les plus grandes valeurs dans les parcelles menées en SD avec des différences respectives de 2,8 et 37%.

La culture de blé en seconde campagne (tab 19, ann 1), affiche des variations hautement significatives entre le LC et SD.

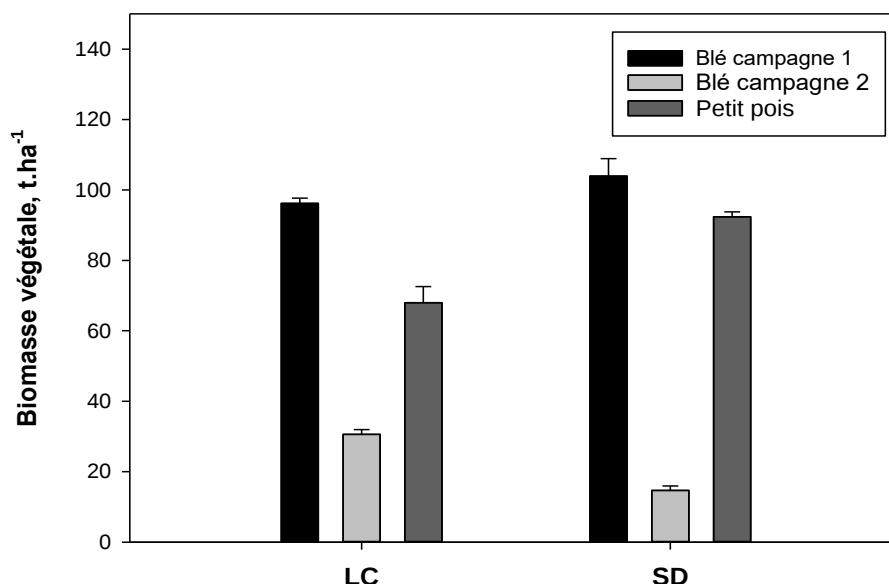


Figure 36. Biomasse végétale du blé et du petit pois pour les deux systèmes de culture LC et SD.

VII.2.4 - Taux de matière sèche

Le taux de matière sèche est plus important pour les cultures de blé en seconde campagne et de petit pois (fig 37) menées en SD par rapport au LC. Les augmentations sont respectives de 10,4 et

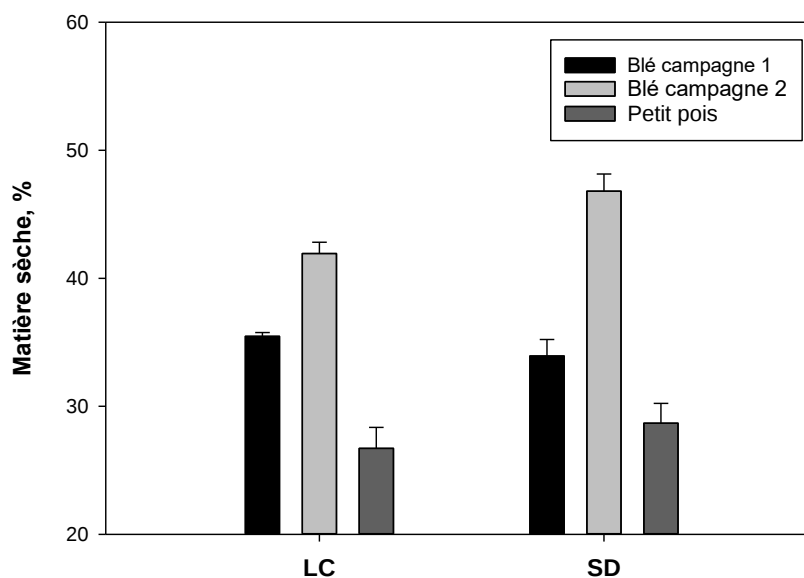


Figure 37. Matière sèche du blé et du petit pois pour les deux systèmes de culture LC et SD.



6,87% pour le blé et le petit pois. Le blé mené en LC pour la première campagne enregistre un taux de matière sèche plus grand qu'en SD avec un pourcentage d'accroissement de 4,3%.

En seconde campagne l'analyse de la variance montre des différences significatives à très hautement significatives pour le blé et le petit pois entre le SD et LC (tab 20, ann 1).

VII.2.5 - Evolution de la teneur relative en eau (RWC)

A partir du stade de montaison, nous avons commencé à déterminer la RWC (relatif water content – teneur relative en eau) de la plante chaque quinzaine. L'évolution de la RWC (fig 38a, b et c), montre globalement que les valeurs obtenues en conduite de SD sont supérieures à celles relevées en conduite de LC. La différence entre les deux conduites est relativement plus remarquable pour le blé durant la seconde campagne. La RWC diminue avec l'avancement de la culture dans son cycle végétatif.

Pour la seconde campagne, l'analyse de la variance affiche des variations significatives à très hautement significatives pour le blé et le petit pois entre les deux systèmes de culture.

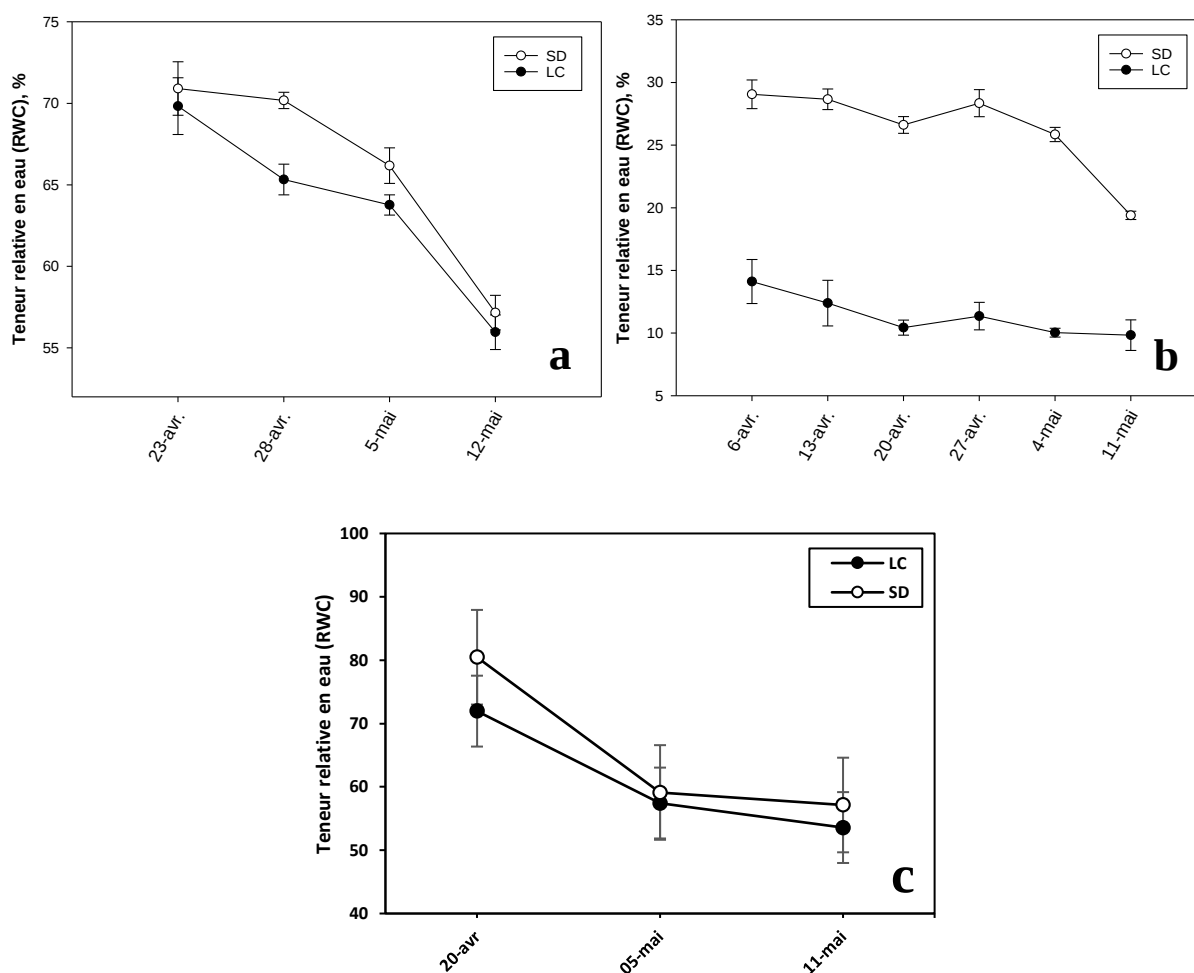


Figure 38. Evolution de la RWC entre les deux systèmes de culture LC et SD : (a) blé campagne 1, (b) blé campagne 2 et (c) petit pois.



VII.3 - Composantes du rendement

VII.3.1 - Nombre de plants par m²

Le nombre de plants par m² est plus élevé pour les cultures de blé en première campagne et pour le petit pois dans le cas du LC par rapport au SD (fig 39). Dans ces conditions, l'augmentation est de 6 et 16,5% respectivement pour le blé et le petit pois. Le blé mené en SD durant la seconde campagne, montre un nombre de plants par m² plus grand qu'en LC avec un pourcentage d'accroissement de 6%.

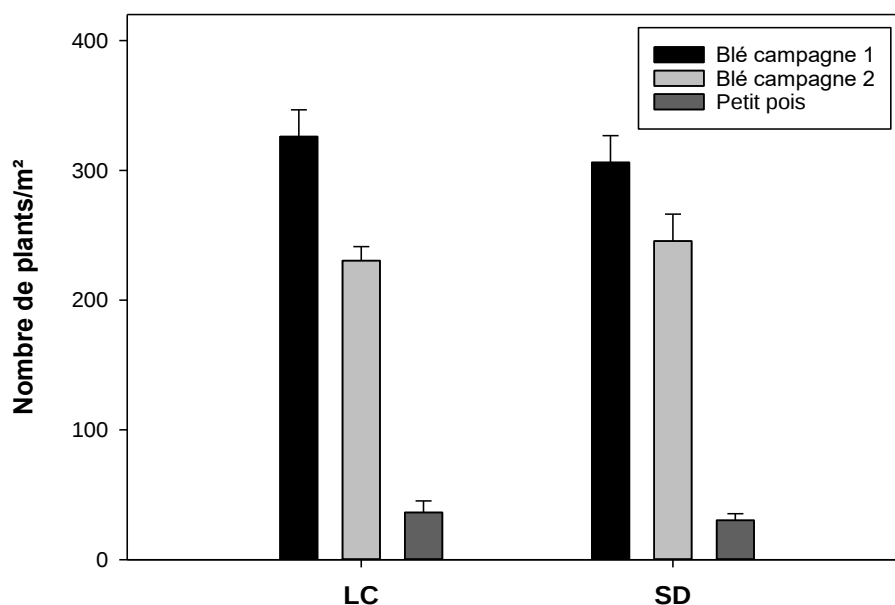


Figure 39. Nombre de plt.m⁻² du blé et du petit pois pour les deux systèmes de culture LC et SD.

VII.3.2 - Nombre de talles et ramifications par m²

Les résultats du nombre de talles par m², expriment qu'il est plus élevé en LC qu'en SD pour le blé durant les deux campagnes (fig 40).

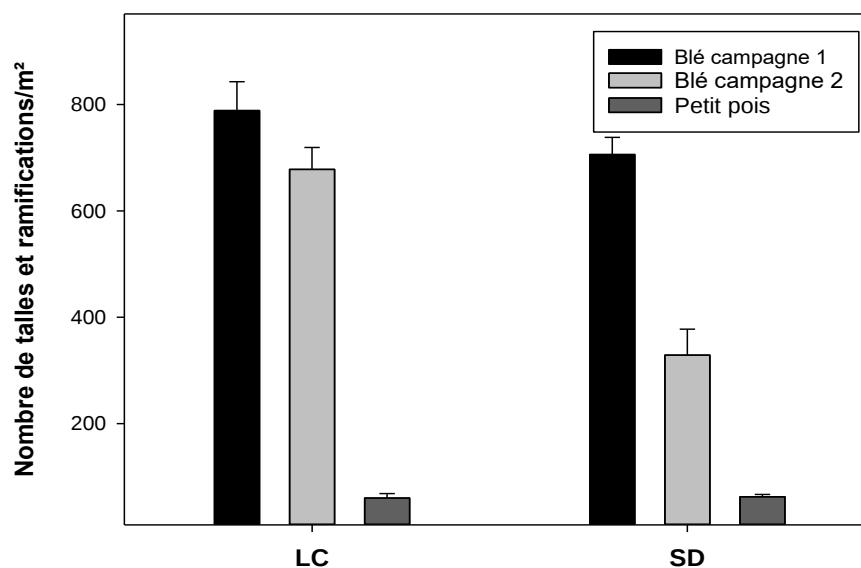


Figure 40. Nombre de talles.m⁻² du blé et ramifications.m⁻² du petit pois pour les deux systèmes de culture LC et SD.



En effet, le pourcentage d'augmentation est de 10,5 et 51,6% respectivement pour la première et la seconde campagne. Pour le petit pois, le nombre de ramifications par m² est plus petit en LC qu'en SD. Dans ce cas, le pourcentage de diminution est de 3,7%.

L'analyse de la variance du nombre de talles par m² pour le blé en seconde campagne montre des différences significatives entre le LC et SD (tab 22, ann 1).

VII.3.3 - Nombre d'épis et de gousses par m²

Les résultats du nombre d'épis par m² illustrent un nombre plus élevé en SD qu'en LC pour le blé à la première campagne (fig 41). De même pour le nombre de gousses par m² dans le cas du petit pois. Le pourcentage d'accroissement est respectivement de 1 et 16,33% pour le blé et le petit pois. A contrario, pour la seconde campagne le blé affiche un nombre d'épis par m² plus important dans les parcelles conduites en LC que celles menées en SD avec un taux d'augmentation de 34,7%.

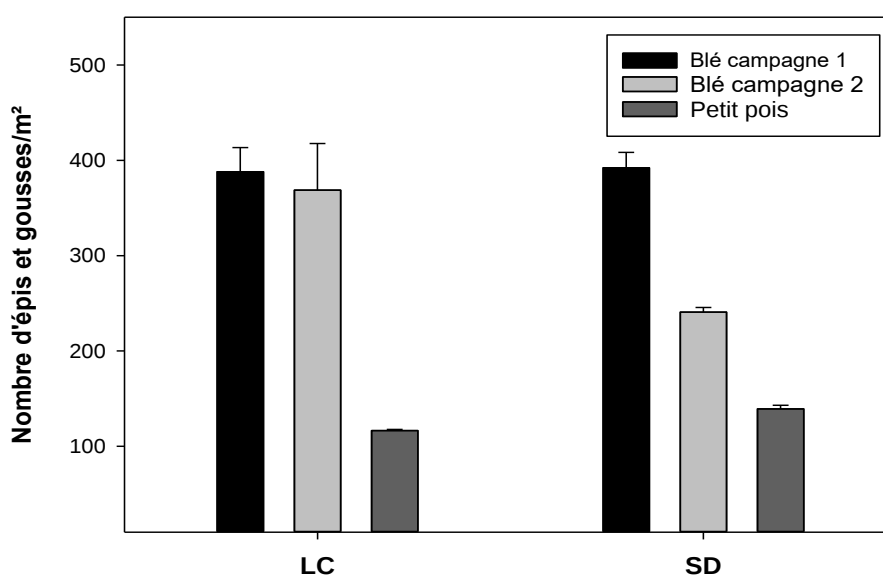


Figure 41. Nombre d'ép.m⁻² du blé et de gouss.m⁻² du petit pois pour les deux systèmes de culture LC et SD.

VII.3.4 - Nombre de grain par épi et par gousse

Les résultats du nombre de grains par épi pour la culture du blé expriment une dominance de la conduite en LC par rapport à celle en SD pour les deux campagnes (fig 42) avec des pourcentages respectifs de 7,9 et 49,8%. Pour la culture de petit pois, les résultats affichent un nombre de grains par gousses plus élevé en système de SD qu'en LC. Dans ce cas le pourcentage d'accroissement est de 31,4%.

La seconde campagne montre des résultats significatifs à très hautement significatifs pour le blé et le petit pois entre le LC et le SD (tab 24, ann 1).

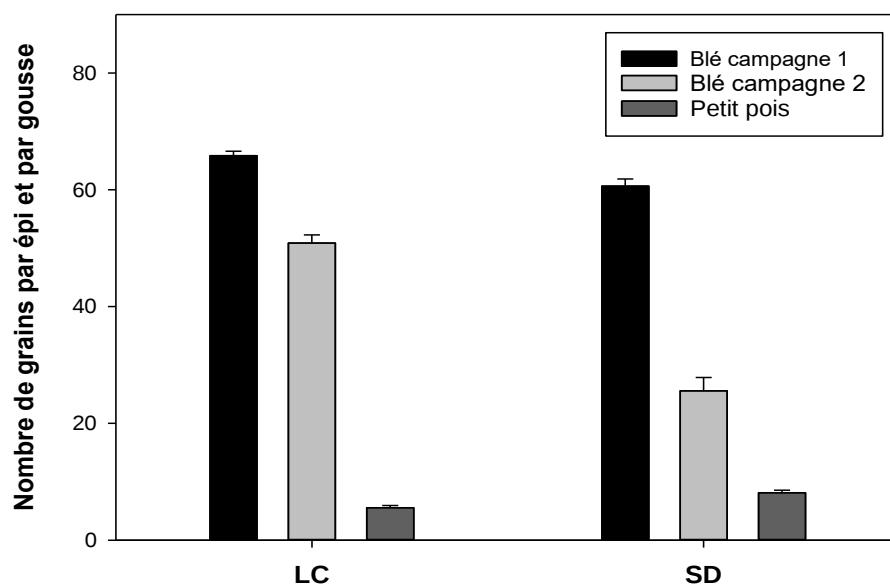


Figure 42. Nombre de grain.épi⁻¹ du blé et grain.gouss⁻¹ du petit pois pour les deux systèmes de culture LC et SD.

VII.3.5 - Poids de mille grains (PMG)

Le poids de mille grains des deux cultures et durant les deux campagnes (fig 43) est plus important dans les parcelles menées en SD par rapport à celles conduites en LC. Dans ces conditions les pourcentages d'augmentations sont de 0,14, 23,8 et 30,3% respectivement pour le blé (campagne 1 et 2) et le petit pois. La culture de petit pois en seconde campagne enregistre des différences significatives entre le SD et LC (tab 25, ann 1).

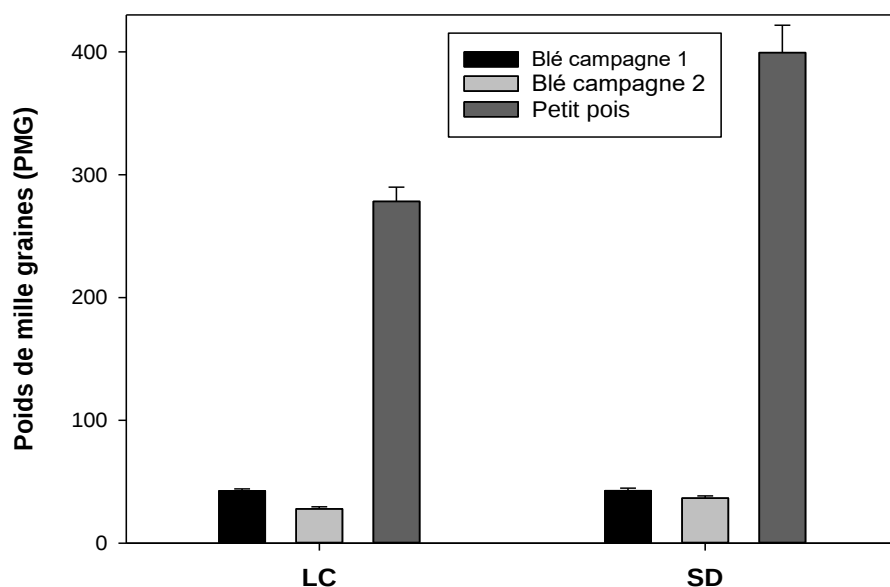


Figure 43. Poids de mille grains du blé et du petit pois pour les deux systèmes de culture LC et SD.



VII.3.6 - Rendement en grains

Les résultats du rendement en grains dévoilent des valeurs plus importantes pour la culture du blé menée en LC par rapport au SD (fig 44). Pour cette culture, la différence entre les deux conduites est de 68,8% pour la seconde campagne par rapport à la première où elle n'est que de 5,1%. Pour la culture de petit pois, c'est dans les parcelles menées en SD que le rendement en grains est plus important avec une différence de 62,6%.

Pour la seconde campagne, l'analyse de la variance exprime des différences entre le LC et le SD, significatives à hautement significatives respectivement pour le petit pois et le blé (tab 26, ann1).

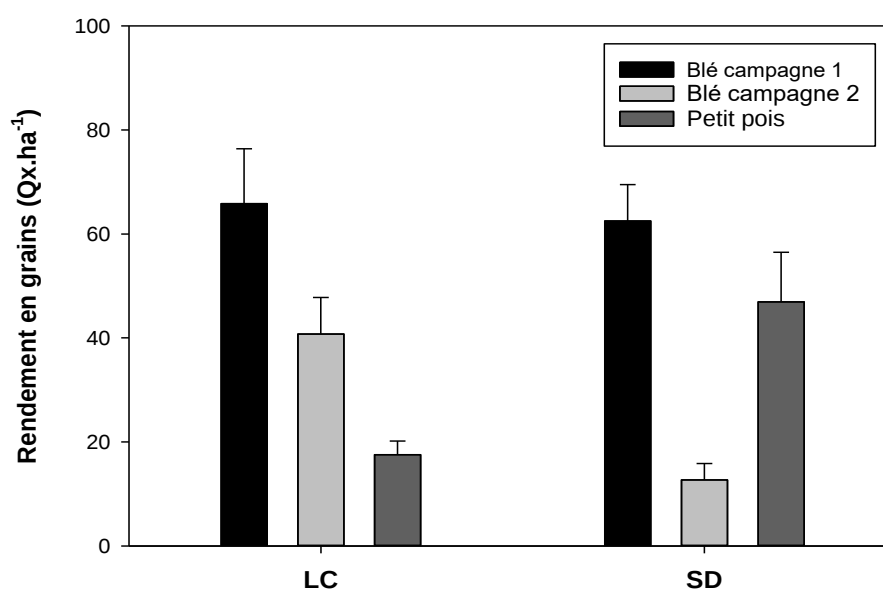


Figure 44. Rendement en grain du blé et du petit pois pour les deux systèmes de culture LC et SD.

VII.3.7 - Rendement paille

Les résultats du rendement en paille montrent pour la culture de blé (campagne 1) et le petit pois (fig 59), des rendements supérieurs pour la conduite en SD comparée à celle menée en LC, avec des

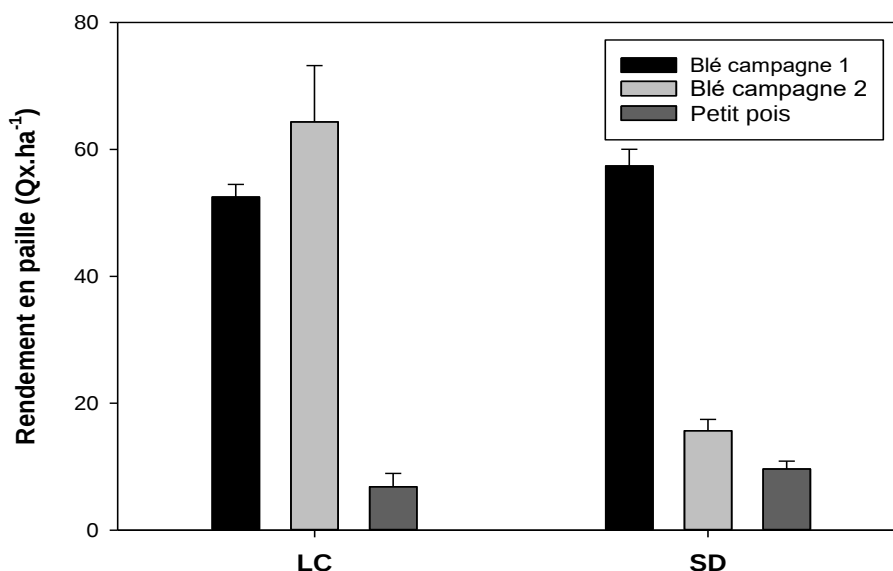


Figure 45. Rendement en paille du blé et du petit pois pour les deux systèmes de culture LC et SD.



pourcentages d'augmentation de 8,7 et 29,1% respectivement pour le petit pois et le blé. Pour la seconde campagne, la culture de blé (fig 45) exprime de faibles rendements en SD par rapport au LC avec un pourcentage de baisse de 75,6%.

L'analyse de la variance illustre des différences significatives à très hautement significatives entre le LC et le SD pour le blé et le petit pois en seconde campagne (tab 27, ann 1).



CHAPITRE VIII – SYNTHÈSE DES DISCUSSIONS

VIII.1 - Effets du labour conventionnel et du semis direct sur les propriétés physico-chimiques du sol

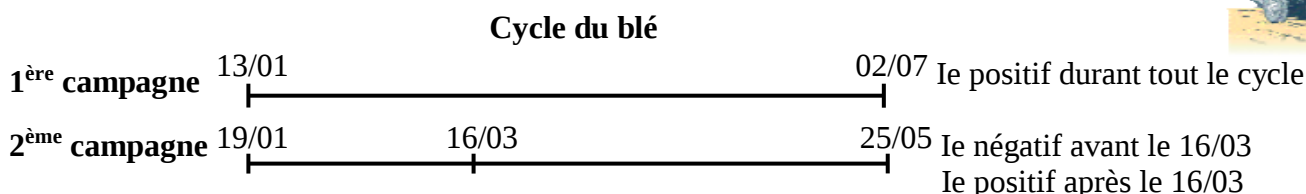
Avant de commencer à discuter les résultats des effets du LC et du SD sur les propriétés physico-chimiques du sol, il est important de rappeler que la rétention de l'eau par le sol est un paramètre de qualité d'une grande importance, il constitue souvent un facteur limitant pour la productivité en agriculture. Le choix d'une technique culturale est déterminant sur sa capacité à permettre au sol de stocker l'eau et la rendre disponible aux racines particulièrement dans des conditions climatiques contraignantes (faible pluviométrie et forte température).

De façon globale, les résultats que nous avons obtenu de l'humidité du sol sont influencés principalement par la quantité et la distribution des précipitations durant les cycles des cultures. Néanmoins, la conduite culturale, SD ou LC, impactent fortement l'évolution de ce paramètre. Le dessèchement du sol est un facteur pertinent qui varie en fonction du climat et du sol. Le phénomène d'évaporation de l'eau du sol en SD est atténué par le paillage.

Pour la culture du blé, durant la première campagne, les résultats de l'humidité du sol montrent des différences minimales entre les deux systèmes de culture (LC et SD). En effet, les précipitations abondantes durant le cycle de la culture ont permis de garder une humidité du sol suffisante en mesure d'assurer son confort hydrique. Par ailleurs, les températures moyennes mensuelles durant le cycle de la culture, variant entre 10,9 et 17 °C, n'ont pas permis une évaporation suffisante de l'eau du sol pour faire exprimer l'effet du paillage couvrant la surface des parcelles menées en SD.

Durant la seconde campagne, les parcelles conduites en LC ont des humidités plus grandes que celles menées en SD durant les deux premiers mois et demi du cycle de la plante. Au-delà de cette période, c'est l'humidité du sol des parcelles menées en SD qui devient plus importante. Cette période est caractérisée par des températures plus importantes et des précipitations de plus en plus rares. Pour le petit pois, l'humidité du sol est plus importante en SD qu'en LC durant tout le cycle de la culture.

L'analyse des résultats de l'humidité du sol, montre une prédominance de la conduite en SD par rapport à celle en LC avec des écarts minimes. Ce qui nécessite de rapporter ce paramètre hydrique en termes de volume d'eau par rapport à la masse du sol. C'est pourquoi, nous avons fait appel à l'indice d'eau (Ie) qui illustre de manière plus éloquente la différence en quantité d'eau retenue par le sol entre les deux cas de conduite en SD et en LC. L'Ie positif exprime une humidité du sol plus grande en SD qu'en LC. L'inverse se présente quand l'Ie est négatif (schéma ci-après).



Dans ces conditions, se pose la question de l'effet du couvert végétal et de son rôle d'atténuation du phénomène d'évaporation non observé au cours des deux premiers mois du cycle du blé durant la seconde campagne. Ceci est, vraisemblablement, dû aux effets combinés des précipitations, des températures et du couvert végétal (diminution de l'évaporation) sur le bilan hydrique du sol.

Ces résultats concordent avec ceux rapportés par Mrabet (1997), qui montre que le maintien d'un couvert végétal sur la surface d'un sol mené en SD prolonge la durée de son dessèchement et permet de le garder humide plus longtemps qu'un sol mené en LC. D'autres auteurs (Scopel *et al.*, 1999), rapportent que le paillis appliqué à la surface du sol a un effet positif sur le stockage de l'eau, même à quantité faible, puisque les pertes en eau par évaporation diminuent de 30 à 50% par rapport au LC. D'autres études ont montré que la jachère permettait une bonne conservation de l'humidité du sol (Godwin, 1992). En captant les pluies, la jachère accroît l'humidité du sol pour la culture suivante et les volumes d'eau stockés par rapport aux précipitations cumulées sont importants (Sebillott, 1991 ; Fellahi *et al.*, 2013).

Par ailleurs, d'autres auteurs ont rapporté que sous une couverture végétale, le confort hydrique d'une culture est amélioré par rapport à un sol nu. Les résidus de récoltes forment un mulch en surface du sol pendant le développement de la culture permettant ainsi de diminuer l'évaporation de l'eau du sol (Séguy *et al.*, 2009). Une capacité de stockage élevée conduit à la constitution d'une réserve utile (RU) en eau importante (Husson *et al.*, 2013). En plus, l'augmentation des résidus de récolte limite le taux d'évaporation et la remontée par capillarité de l'eau en maintenant une humidité supplémentaire dans le sol valorisée par la culture comme le montre les travaux de Mrabet (2002) ; Findeling *et al.*, (2003) ; Khaledian *et al.*, (2006).

A moyen et long terme, le semis direct permet le développement d'une microporosité du sol favorable au stockage de l'eau sous l'effet d'une activité biologique liée au maintien d'une couverture végétale à la surface du sol non travaillée (Kravchenko et Thelen, 2007 ; Sadeghi et Bahrani, 2009). Les résultats des caractéristiques physiques et chimiques ne présentant pas des différences notables entre les parcelles expérimentales menées en LC et celles conduites en SD. Cependant, la MO enregistre une teneur relativement plus élevée en SD.

Dans la littérature, plusieurs auteurs montrent, que sur un terroir agricole, les jachères sont le lieu principal de production d'une ressource organique renouvelable et exploitable d'après Perry *et al.*, 1989 et Gaillard *et al.*, 2003. Pour Feller (1995), il existe des relations étroites entre les teneurs



en matière organique des horizons de surface des sols et leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques. En effet, les travaux de Jean-François (2009), illustrent que les systèmes de conduite en SD laissent plus de 30% des résidus de cultures en surface du sol. Ces considérations s'affirment à terme sur des sols menés en SD.

VIII.2 - Effets du labour conventionnel et du semis direct sur les paramètres phénologiques des cultures

A l'image des résultats obtenus, on constate que les deux systèmes de culture en SD et en LC influencent de manière claire les paramètres phénologiques des cultures étudiées.

Pendant la première campagne agricole, les résultats obtenus montrent une certaine précocité de levée du blé pour les parcelles menées en SD par rapport à celles conduites en LC. Il est important de rappeler que les parcelles expérimentales étaient soumises aux mêmes conditions à l'exception du paillage qui caractérisait celles menées en SD. Le paillage a permis de garder une température relativement fraîche et une humidité du sol suffisantes pour créer les conditions favorables à une levée précoce. Selon Blanco-Canqui et Lal (2007) et Lal *et al.*, (2007), la présence d'un mulch en surface dans les systèmes de conservation limite l'évaporation et augmente la rétention en eau dans les premiers centimètres de sol. Ainsi l'imbibition en eau de la graine acquiert une humidité suffisante du lit de semences, en partie conditionnée par les opérations finales de préparation du sol (Labreuche *et al.*, 2014). Ces mêmes auteurs montrent que le type de préparation du sol joue un rôle sur la température du lit de semences. En semis direct, le sol se réchauffe moins, ce qui se traduit par une levée précoce. Ces résultats concordent avec ceux trouvés par Karssen (1982).

Contrairement aux résultats de la première campagne, la seconde enregistre une levée précoce en faveur des parcelles menées en LC pour la culture du blé et de petit pois. Plusieurs facteurs peuvent intervenir pour rendre compte d'une levée difficile en SD. Il s'agit premièrement d'une répartition irrégulière de la paille sur la surface de la parcelle. En effet, les orges ou les blés d'hivers implantés sur un précédent blé sans labour peuvent pâtir de difficultés liées à la régularité et la densité des résidus de récoltes qui perturbent la levée (Heddadj *et al.*, 2014). La densité des résidus de récolte pour la deuxième campagne est plus élevée par rapport à la première : $4,4 \text{ t.ha}^{-1}$ contre $3,5 \text{ t.ha}^{-1}$.

La levée difficile peut être aussi expliquée par les quantités de précipitations reçues avant la date du semis : 76,46 mm pour la première campagne contre une pluviométrie nulle pour la seconde campagne.

Le blé se caractérise par une grande capacité d'adaptation à diverses conditions environnementales. Son rythme de développement, qui dépend des conditions du milieu et du génotype, peut permettre à la plante d'échapper à des stress biotiques et abiotiques d'ordres pédologiques et/ou climatiques. La première campagne montre une différence de précocité au stade d'épiaison de deux jours



en faveur des parcelles menées en SD. La figure 46, prise durant cette campagne, montre que les parcelles menées en LC sont soumises à l'effet de l'ombre d'un brise-vent de cyprès durant la matinée, ce qui diminue la durée photopériodique de ces dernières par rapport à celles conduites en SD.



Figure 46. Vue sur les parcelles expérimentales menées en LC (campagne 1).

Les blés sont sensibles à la photopériode et nécessitent une période de jours longs pour permettre la transition de l'état végétatif vers l'état reproducteur de l'apex de la plante. Les besoins en jours longs à la sortie de l'hiver retardent les stades de la différenciation des pièces florales (Oury *et al.*, 2013). Parcevaux et Huber (2007), rappellent que pour leur métabolisme, les végétaux ont besoin d'énergie grâce à la photosynthèse. Dans ce cas, le rayonnement visible est le véhicule de cette énergie.

Le retard au stade d'épiaison pour le LC par rapport au SD, peut être expliqué en partie par la faible quantité de précipitations intervenue durant ce stade qui a affecté les deux systèmes de cultures différemment : en LC l'évaporation était importante alors qu'en SD elle était atténuée par l'effet du paillis qui a permis de maintenir une certaine humidité du sol. En effet, Séguy *et al.*, (2009), montrent que dans les systèmes menés en SD, la couverture végétale joue le rôle de couverture thermique. Elle protège le sol contre l'évaporation intense et limite les pertes de chaleur pendant la nuit. La température du sol sous une couverture végétale est donc tamponnée et l'amplitude thermique y est limitée.

Pour la seconde campagne, la précocité au stade d'épiaison chez la culture de blé tendre est en faveur des parcelles menées en LC avec une différence de huit jours par rapport à celles conduites en SD. Cette situation est vraisemblablement liée aux faibles précipitations et aux hautes températures ayant marqué cette période. Dans ce cas, il faut prendre en compte, d'une part, l'effet du paillis sur le



maintien d'une humidité du sol en SD et d'autre part l'effet du stress hydrique sur les mécanismes d'esquive de la culture en LC. L'interaction entre ces deux effets, semble une voie d'explication de la précocité en épiaison du LC. Selon Gate *et al.*, (2008), la hausse des températures due au changement climatique a conduit à un avancement des stades des cultures au cours des 25 dernières années. Pour Monneveux (1997), la précocité chez les céréales à paille cultivées en zones méditerranéennes est un mécanisme d'esquive ou d'échappement, qui a d'ailleurs été largement exploité par les agriculteurs.

Pour la culture de petit pois la précocité au stade de floraison a été observée pour le SD avec une différence de 6 jours. Cela est dû à l'effet du couvert végétal en faveur d'une atténuation du phénomène d'évaporation et d'un maintien d'une humidité du sol.

La date de maturité est un autre paramètre phénologique important dans le cycle végétatif des espèces végétales. Les résultats obtenus pour les deux campagnes montrent que la précocité de maturité du blé est observée dans les parcelles menées en LC. En fait, un sol dépourvu d'un couvert végétal est un sol exposé aux différents facteurs climatiques (pluie, chaleur, vent, ...etc). En effet, les hautes températures enregistrées durant cette phase de maturation, accentuent l'évaporation et diminuent l'humidité du sol. En réaction, la culture de blé accélère l'achèvement de son cycle de vie. Wardlaw et Moncur (1995), notent que dans les conditions semi-arides méditerranéennes, la précocité de l'épiaison et celle de maturité sont souvent utilisées comme critère de sélection et citées comme mécanismes importants dans l'esquive ou l'échappement des contraintes climatiques. En contrepartie, la présence du paillage en surface des parcelles menées en SD, constitue un sauveur des cultures soumise au stress hydrique qui prolonge ainsi leur cycle végétatif. Ce qui explique que la majorité des corrélations positives trouvées entre l'humidité du sol et la précocité de la maturité concernaient particulièrement les stades de fin de cycle végétatif pour les deux campagnes ($r = 0,91$; $0,70$; $0,81$ respectivement pour le blé campagne 1 et 2 et le petit pois).

VIII.3 - Impact du LC et du SD sur les paramètres morpho-physiologiques des cultures

L'évolution des paramètres morphologiques permet de distinguer les effets des conduites culturales (LC et SD) sur la vitesse de croissance et de développement des cultures au cours de leurs cycles végétatifs.

Durant la première campagne, l'évolution des paramètres morphologiques du blé tendre : hauteur des plants, surface foliaire, biomasse végétale aérienne et matière sèche, sont sensiblement proches entre les conduites en SD et en LC. L'essai étant à son stade initial et les précipitations importantes en quantité et bien réparties durant le cycle de la culture, n'ont pas permis à ces paramètres d'exprimer des différences nettes entre les deux techniques culturales.

Pour la seconde campagne, la hauteur des plants, la surface foliaire et la biomasse végétales révèlent des différences remarquables entre les deux conduites en SD et LC. En effet, ils sont plus



élevés dans les parcelles conduites en LC par rapport à celles menées en SD. Ceci est également remarqué sur le système racinaire très développé sur les sujets prélevés dans les parcelles menées en LC par rapport à ceux prélevés sur les parcelles conduites en SD. Le système racinaire assure une bonne croissance des plantes grâce à une alimentation hydrique et minérale exacerbée par l'exploitation d'un grand volume du sol en mesure de concurrencer les plantes adventices et entraîner un rendement satisfaisant en grains et en paille. Ahmadi (1983), signale le rôle clé d'un système racinaire bien développé dans le maintien de l'approvisionnement en eau d'une plante soumise à la sécheresse. D'autres auteurs indiquent une relation entre la hauteur des talles et le volume du système racinaire (Khaldoun *et al.*, 1990).

Pour la matière sèche, les valeurs supérieures sont observées dans les parcelles menées en SD. Des expérimentations réalisées par Zhang et Shil (2003) ; Bousba *et al.*, (2009) affirment que lorsque le stress devient sévère la production de la matière sèche ralentie sous conditions de travail conventionnel.

En ce qui concerne la culture de pois, les meilleures hauteurs ont été constatées dans les parcelles menées en SD, ça signifie que notre culture a bien profité d'une bonne alimentation minérale et hydrique sous l'effet de la présence d'un couvert végétal en surface. Ce dernier a modifié le taux d'évaporation en eau par rapport à un sol nu. L'effet de la densité d'un couvert végétal sur son efficacité à limiter l'évaporation du sol est rapportée par Unger et Parcker (1976). En étudiant différents types de paillis, ces derniers concluent que plus le paillis est dense plus la réduction de l'évaporation est importante.

La surface foliaire est un autre paramètre morphologique important par son effet sur le rendement et notamment son rôle très important dans la photosynthèse. La feuille est le moteur de la plante et la partie essentielle de la synthèse des matières organiques nécessaires au développement du végétal. Son évolution au cours du cycle végétatif constitue un paramètre essentiel dans la détermination de la croissance du blé (Kies, 1982).

A l'égard des résultats obtenus, la surface foliaire est favorisée par une bonne alimentation hydrique et minérale, le cas qui est prouvé par les résultats obtenus à travers des deux campagnes agricoles, les besoins de la plante se limitent à l'eau et aux substances minérales du sol (Heller *et al.*, 1998).

La biomasse végétale aérienne produite est l'un des paramètres morphologiques les plus importants vue son rôle majeur dans le déroulement des différents phénomènes physiologiques de la plante. Selon les résultats obtenus, c'est le système de LC qui domine chez la culture de blé par rapport à la technique de SD. La première campagne agricole, ne montre pas de différences significatives entre



les parcelles paillées en non-paillées. Cette saison est caractérisée par une pluviométrie importante et bien répartie au cours du cycle végétatif de la culture.

La campagne suivante révèle des différences significatives entre les deux conduites culturales : LC et SD. Les résultats obtenus montrent une dominance de la technique classique avec des biomasses élevées par rapport à la technique de SD. D'un point de vue climatique, cette campagne est considérée comme une année sèche, vu les faibles quantités de pluie enregistrées. Malgré la rareté des pluies constatée, les parcelles du système traditionnel ont produit une bonne quantité de biomasse, ça ne peut être exprimé que par le fait d'une bonne alimentation hydrique et minérale.

La biomasse produite par le blé est favorisée par un fort tallage obtenu sur les parcelles conduites en LC (LC = 3 tal.plt⁻¹ contre SD = 1,3 tal.plt⁻¹). En effet, une corrélation positive existe entre le nombre de talles et la biomasse produite ($r = 0,95$). Ces résultats rejoignent ceux trouvés par Lopez-Bellido *et al.*, (2000), qui montrent que la biomasse produite est plus importante sous LC que sous SD. Un bon développement de la partie aérienne est souvent relié à un bon développement du système racinaire (fig 47) qui permet à la plante de bien exploiter un grand volume du sol en s'assurant une alimentation hydrique et minérale satisfaisante.

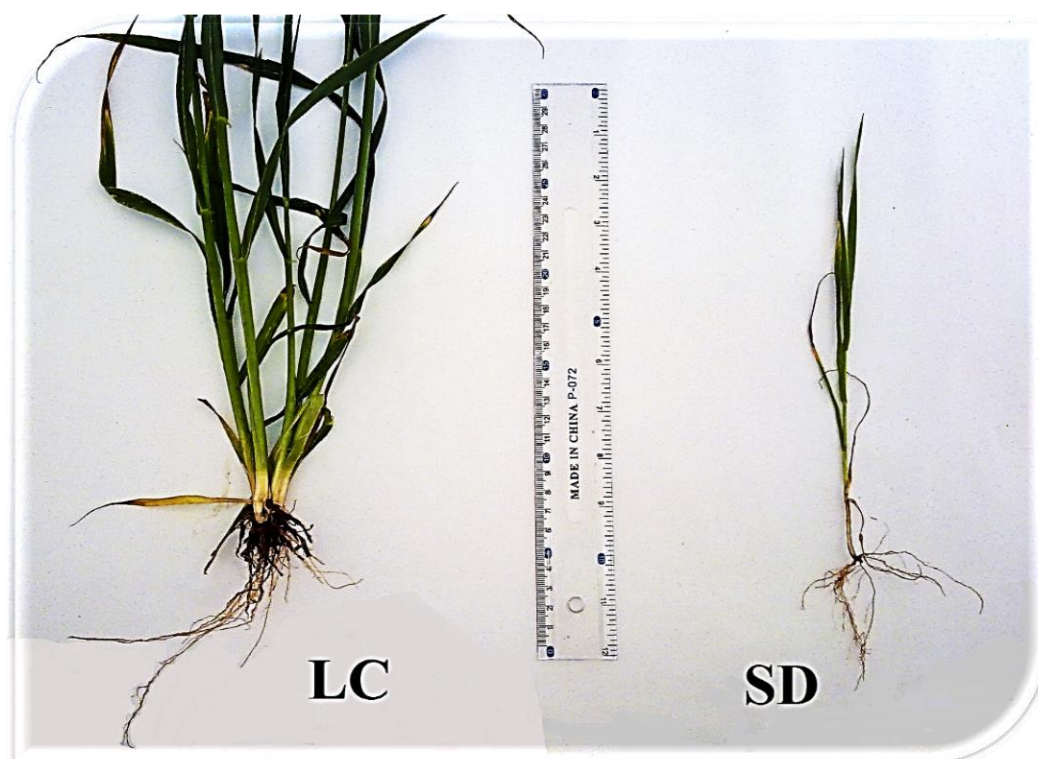


Figure 47. Système racinaire des plants de blé tendre (campagne 2).

Ces résultats sont en adéquation avec ceux obtenus par plusieurs auteurs, qui rapportent que le développement de la partie racinaire qui s'effectue au détriment de la partie aérienne est un critère de résistance à la sécheresse (Taylor *et al.*, 1982 ; Van Hess, 1997), permettant une meilleure utilisation



de l'eau disponible (Davidson, 1969). D'un autre côté, Anderson *et al.*, (1985) signalent que la croissance et la distribution des racines sont influencées par le labour et la fertilisation azotée. À cet égard, une culture céréalière comme celle de blé tendre développe bien son système racinaire quand le sol est bien travaillé.

A contrario, la culture de petit pois, enregistre plus de ramifications en semis direct qu'en labour conventionnel, c'est la raison pour laquelle ces résultats sont traduits par une biomasse élevée dans les parcelles menées en SD. Ces résultats rejoignent ceux du Husson *et al.*, (2013). Au-delà d'une meilleure alimentation hydrique des cultures, une bonne gestion du couvert végétal permet d'optimiser la production de biomasse par rapport à la quantité d'eau disponible du sol. En effet, l'eau disponible en quantité suffisante entraîne un confort hydrique bien exploité par le système racinaire (fig 48). Dans ce cas, une corrélation existe entre la biomasse produite et l'humidité du sol ($r = 0,92$). Pour cette raison, l'adoption de pratiques sans labour maintient et augmente la quantité de résidus de cultures qui sont retournée au sol. Ces bonifications réduisent de la dégradation du sol et améliorent la productivité des cultures (Chennafi, 2012a).

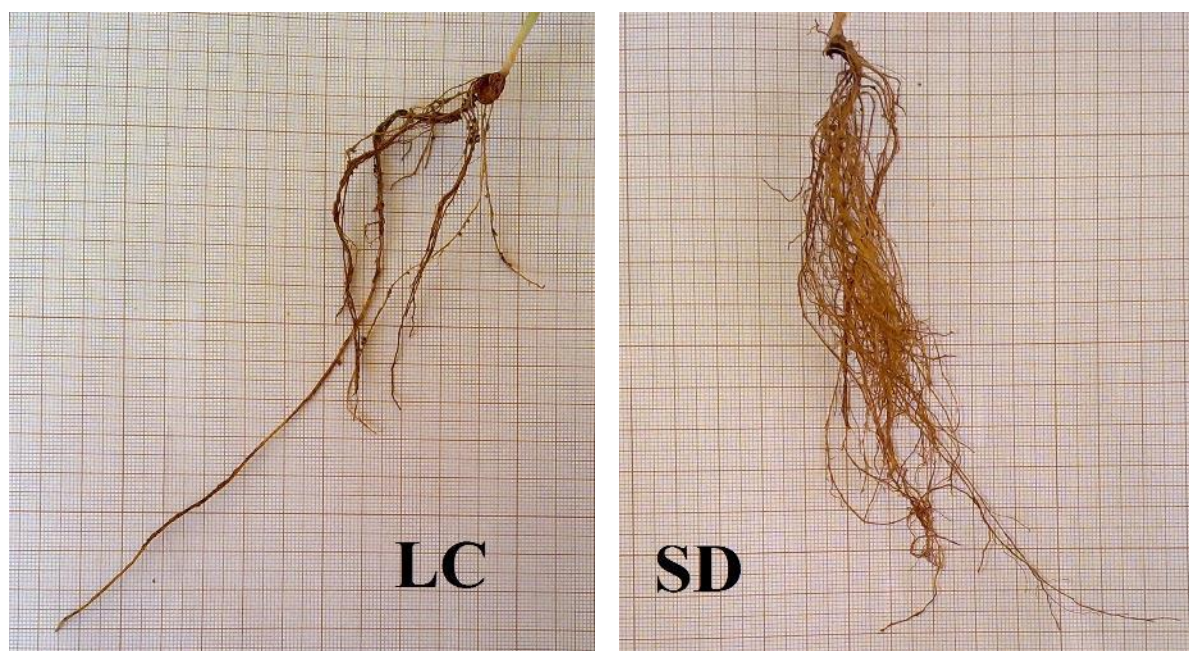


Figure 48. Système racinaire du petit pois en SD et en LC durant la seconde campagne.

C'est la première campagne agricole qui marque le plus grand taux de biomasse produite, dû à la bonne répartition des précipitations dans le temps. La campagne suivante enregistre un taux de biomasse faible dans toutes les parcelles à cause d'un manque en pluie qui a affecté négativement la majorité des paramètres étudiés. D'après Lecoœur (2007), l'impact majeur du déficit hydrique reste



une réduction de la production de la biomasse par la culture. Cette production est reliée au bilan photosynthétique de la culture qui dépend de sa surface foliaire et de son activité photosynthétique par unité de surface foliaire.

Le taux de la matière sèche est l'un des indicateurs morphologiques importants qui permet de voir la réaction de la plante vis-à-vis des effets des deux systèmes de culture (LC et SD).

Durant la seconde campagne les conditions climatiques défavorables, ont révélés des résultats significatifs pour le blé et le petit pois, qui ont enregistré un meilleur taux de matière sèche dans les parcelles conduites en SD. En effet, Van Damme (1990), à montrer que les plantes stressées développent plus de matière sèche. La conduite culturale en SD limite l'intensité d'évaporation du sol et prolonge la durée de dessèchement de la surface en gardant le sol plus humide pendant une période de temps plus longue (Grosclaude *et al.*, 2006 et Nadjem, 2012). Bousba *et al.*, (2009), affirment que lorsque le stress devient sévère la production de la matière sèche diminue en conditions de LC.

La teneur relative en eau (RWC : *Relative Water Content*) est un autre indicateur pertinent du statut hydrique d'une plante et de son fonctionnement physiologique. En effet, il se présente comme un paramètre fiable plus intéressant que les autres potentiels hydriques (osmotique) en conditions de sécheresse pour évaluer la réponse d'une culture au stress hydrique. Braham (1997), rapporte que l'état d'un déficit hydrique pour une plante se caractérise par une chute de son RWC, son potentiel hydrique total et son potentiel osmotique accompagné par la perte de turgescence et la fermeture des stomates.

Il est important de rappeler que les données du RWC pour les parcelles conduites en SD sont supérieures à celles enregistrées en conduite en LC pour les deux cultures et pour les deux campagnes. Ceci est dû à l'effet du couvert végétal sur les parcelles du SD en termes d'évaporation de l'eau du sol et son effet sur le comportement de la plante. En effet Debashis *et al.*, (2008), mentionnent que le paillage maintien un bon état hydrique des plantes qui sont moins soumises au stress hydrique et réagissent en réduisant leurs tailles et leurs surfaces foliaires. D'autres travaux rapportent que le stress hydrique réduit la croissance des jeunes pousses, la division cellulaire, la taille des feuilles, leur surface verte et la teneur en eau de tous les organes de la plante (Ali Dib *et al.*, 1992 ; Monneveux *et al.*, 1993 ; Rekika, 1997 ; Huang *et al.*, 2000 ; Jonsen *et al.*, 2000).

VIII.4 - Influence du LC et du SD sur les composantes du rendement

Les résultats des composantes du rendement, par mètre carré, concernent : le nombre de plants, le nombre de talles, le nombre de ramifications, le nombre d'épis et le nombre de gousses. Ils concernent également : le nombre de grains par épi et par gousse, le PMG et les rendements en grains et en paille.



Pour la première campagne, les résultats ne montrent pas de différences appréciables entre les deux techniques culturales à l'exception des nombres de plants et de talles par mètre carré ainsi que le nombre de grains par épi qui sont plus élevés pour la conduite en LC. Le tallage des céréales est une phase particulièrement sensible aux variations des conditions du milieu, telles que la disponibilité en eau, l'intensité lumineuse et la température (Connor, 1975 ; Thorne et Wood, 1987 ; Comberato et Bock, 1990). Le rendement en paille enregistre une valeur plus élevée en SD.

La couverture aménagée au début de l'expérimentation sous forme de paille répartie à la surface du sol ne semble pas constituer une différence pertinente entre les deux systèmes de cultures en termes de composantes du rendement. Les conditions pluviométriques favorables (le blé n'était pas soumis à un stress hydrique durant tout son cycle développement), ont contribué à des résultats proches entre les deux conduites culturales qui ne permettent pas de conclure l'avantage de l'une par rapport à l'autre. D'autant plus que le seul paramètre qui aurait pu faire apparaître une différence entre les deux conduites, était la disponibilité en eau du sol directement liée au paillis. Le rôle d'atténuation de l'évaporation du sol joué par le paillis ne s'est pas exprimé en absence de stress hydrique (Fellahi *et al.*, 2013).

Dans la deuxième campagne, les conditions de culture étaient défavorables non seulement à cause d'un déficit pluviométrique remarquable mais aussi à cause d'un retard dans le semis. En effet, les résultats des composantes du rendement sont globalement faibles comparés à ceux de la première. Dans ce cas, le nombre de talles et d'épis par mètre carré, le nombre de grains par épi et les rendements en grains et en paille sont plus élevés pour la conduite en LC. Seuls le nombre de plants par mètre carré et le PMG révèlent des valeurs supérieures pour la conduite en SD.

Le nombre de plants par mètre carré et le PMG étant les deux paramètres en faveur du SD, requièrent une analyse distinctive qui semble se situer particulièrement dans l'importance du PMG comme composante du rendement avec 36,60 g contre 27,89 g pour le LC, une différence de l'ordre de 31% (fig 49).

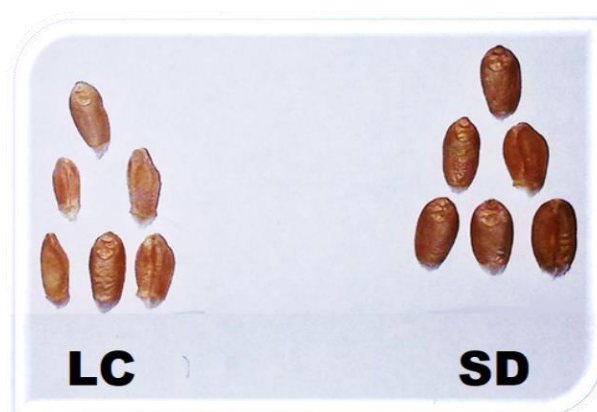


Figure 49. Taille des grains du blé pour les deux conduites en SD et en LC.



Cette différence peut être partiellement expliquée par le phénomène de sécheresse qui a duré longtemps et particulièrement durant la phase de remplissage des grains au cours de laquelle se produit le transfert des assimilés. Satorre et Slafer (1999), montrent que le PMG constitue un bon indicateur du degré de remplissage du grain. En termes de réserve hydrique en relation avec le phénomène d'évaporation, les parcelles menées en LC étant nues par rapport à celles conduites en SD, ont probablement affaibli le transfert des assimilés sous l'effet du stress hydrique (De Vita *et al.*, 2007). Dans ce cas, le PMG peut être considéré comme un véritable indicateur, tout comme le RWC, de la réaction de la culture aux effets du stress hydrique. Panozzo et Eagles (1999), rapportent que dans certains cas, le taux de remplissage des grains est faible dans un sol sec par rapport à son état humide.

Une comparaison des résultats des composantes du rendement entre les deux campagnes se trouve dès-lors compromise étant donné que la première est avantagée non seulement par les conditions climatiques favorables mais aussi par la précocité du semis par rapport à la seconde. Néanmoins, la seconde campagne se manifeste par le RWC et le PMG qui expriment, en phase de stress hydrique sévère, un comportement du sol des parcelles conduites en SD intéressant par l'effet du couvert végétal sur le phénomène de dessèchement.

Pour la culture de petit pois, les résultats du nombre de ramifications et de gousses par mètre carré, le nombre de grains par gousse, le PMG et les rendements en grains et en paille sont plus élevés dans les parcelles menées en SD par rapport à celles menées en LC. Seul le nombre de plants par mètre carré enregistre une moyenne plus élevée dans les parcelles conduites en LC. Dans ce cas, la culture de petit pois semble répondre favorablement aux conditions de culturale en SD.

L'un des facteurs importants qui explique les résultats favorables au SD pour la culture de petit pois est sa densité racinaire, qui paraît bien développée par rapport à celle du blé malgré les conditions de stress hydrique rencontrées durant la période d'avril à mai coïncidant avec les stades de fin de cycle. Un volume racinaire bien développé possède une grande capacité d'exploitation hydrique et minérale. Ahmadi (1983), rapporte que la profondeur et la densité racinaires jouent un rôle important dans le maintien de l'approvisionnement en eau d'une plante soumise aux conditions de sécheresse. En effet, sous ces conditions de stress hydrique, le rendement en grains dépend de l'interaction entre plusieurs facteurs déterminants sur la sensibilité de la plante au manque d'eau. Ces facteurs sont rapportés par Leport *et al.*, (2006) et Ben Mbarek (2011), qui ont montré que les effets de la sécheresse printanière sur la production de la biomasse aérienne et des graines du petit pois sont plus sévères que ceux provoqués par une sécheresse terminale. Ce qui explique la différence entre le comportement du blé et celui du petit pois vis-à-vis du stress hydrique durant les stades de fin de cycle.



Le poids de mille grains (PMG) ne cesse d’être important comme composante du rendement et enregistre les meilleurs résultats en conduite de SD pour les deux cultures et les deux campagnes. Des travaux menés au sud de l’Italie, ont montré que le PMG est en moyenne supérieur en SD qu’en LC (De Vita *et al.*, 2007).

Pour revenir sur la comparaison des rendements en grains et en paille entre les deux systèmes de cultures, SD et LC, il est possible d’affirmer que durant la première campagne, les différences étaient très faibles. Fellahi *et al.*, (2013), rapportent que le SD estimé avec un taux de couverture de 60% présentait un rendement en grain équivalent à celui obtenu sous les conditions de LC. Durant la seconde campagne, le rendement en grains et en paille de la culture du blé était supérieur dans les parcelles conduites en LC. Ceci est vraisemblablement lié à deux facteurs qui émergent durant la discussion des résultats : le taux de recouvrement du paillage qui était relativement faible (444 g.m^{-2}) et la période de fort stress hydrique intervenue en fin de cycle de la culture. En effet, le facteur densité de paillage qui aurait joué en faveur d’un maintien conséquent en humidité du sol pour atténuer les effets du stress hydrique en SD par rapport au LC était faible (Nugis *et al.*, 2016).

CONCLUSION

CONCLUSION

Au terme de la discussion des résultats obtenus dans le présent travail, il est possible de conclure que la comparaison entre les deux systèmes de culture en LC et en SD, dans les conditions du climat semi-aride du plateau de Mostaganem, favorise d'une part le LC pour certains paramètres mesurés sur la culture, mais avantage aussi le SD pour certains autres paramètres pertinents aussi bien sur la culture que sur le sol.

Le suivi de l'humidité du sol montre un comportement hydrique complètement différent entre les deux modes de culture en LC et en SD. Le sol étant couvert en SD exprime une capacité de stockage d'eau en mesure d'atténuer les effets du stress hydrique intervenu en fin de cycle de la culture du blé. En effet, l'indice d'eau apparaît comme un indicateur pertinent de l'effet du couvert végétal sur le maintien de l'humidité du sol.

Durant la première campagne, l'extrême sensibilité de la culture du blé au stress hydrique et la faible densité du couvert végétal ($3,5 \text{ t.ha}^{-1}$) n'ont pas permis de faire émerger les effets positifs du SD sur la croissance et le rendement de la culture. En effet, sur les plans morphologique et productif, la culture n'a pas exprimé des différences significatives entre les deux systèmes de culture en LC et SD. Ceci est dû à deux facteurs : d'une part au confort hydrique auquel était soumise la culture, lié aux grandes précipitations ayant marqué toutes les étapes du cycle végétatif de la plante. D'autre part, au couvert végétal qui était en deçà d'un certain seuil de densité capable d'exprimer une différenciation en termes de maintien de l'humidité du sol entre le SD et LC.

Pour la seconde campagne, la situation se présente différemment : la densité du couvert végétal était plus importante ($4,4 \text{ t.ha}^{-1}$) mais les précipitations étaient faibles et irrégulières. Cette situation était contraignante pour le stade de remplissage du grain et le LC semble plus favorable à la culture du blé particulièrement pour les rendements en paille et en grains. Néanmoins, la culture enregistre sous la conduite en SD, les plus grandes valeurs en RWC, PMG et humidité du sol. Ces trois paramètres expriment une réponse plus tolérante du blé au stress hydrique intervenu durant le stade de remplissage du grain. Ces trois paramètres s'avèrent des indicateurs très pertinents à prendre en compte dans les études de comparaison entre les deux systèmes de culture en LC et en SD. D'autant que ces trois indicateurs sont également plus élevés pour la culture de rotation, le petit pois, installée sur les parcelles menées en SD. Pour cette culture, l'ensemble des paramètres morphologiques et productifs mesurés sont favorable à la conduite en SD par rapport au LC.

Les résultats du présent travail de recherche concernent un site soumis à un climat semi-aride avec une moyenne pluviométrique annuelle qui ne dépasse pas 450 mm. Bien que ces résultats montrent un comportement morpho-productif du blé favorable, en grande partie au LC, il est important de

se focaliser sur les paramètres qui sont favorable au SD : le RWC, le PMG et l'indice d'eau. Le RWC est un excellent indicateur de l'état de l'eau dans les plantes en état de stress hydrique, il reflète l'équilibre entre l'apport en eau aux tissus et le taux de transpiration de la plante. Le PMG représente le calibre des grains qui ne peut être exacerbé qu'en état de confort hydrique durant le stade de remplissage des grains. Ce confort hydrique est révélé par l'indice d'eau qui signifie un maintien d'humidité du sol sous SD plus important qu'en LC.

Si l'on ajoute à ces considérations, les résultats qui concernent la culture de petit pois qui sont dans leur majorité favorables au SD, il est possible d'affirmer qu'en climat semi-aride, le SD peut constituer une alternative pour une conduite optimisée de l'état du statut hydrique du sol pour l'atténuation des effets du stress hydrique sur la croissance et le rendement des cultures.

Ce qui nous emmène à suggérer de continuer cette expérimentation pour une mise en évidence plus éloquente de l'importance de la conduite culturale en SD en situation de stress hydrique. Ce qui permettra également de permettre, à moyen et long terme, aux parcelles menées en SD d'amorcer une fertilité biologique par l'installation et le développement d'une biodiversité faunique en l'absence de labour qui en est la principale contrainte. Dans ce sens, il est important de diversifier les espèces légumineuses de rotation et d'installer l'essai avec d'autres cultures céréalières et maraichères en veillant à la continuité de l'expérimentation dans le temps pour assurer une validation des résultats.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abiven S., 2004. Relations entre caractéristiques des matières organiques apportées, dynamique de leur décomposition et évolution de la stabilité structurale du sol. Rennes, Agrocampus. 262p.
- Aboudrare A., 2000. Stratégies de stockage et d'utilisation de l'eau pour le tournesol pluvial dans la région de Meknès. Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences Agronomiques. IAV Hassan II, Rabat, Maroc. 175 p.
- Aboudrare A., Debaeke P., Bouaziz A., et Chekli H., 2006. Effects of soil tillage and fallow management on soil water storage and sunflower production in a semi-arid Mediterranean climate. *Agricultural Water Management*, 83. Pp 183-196.
- Ahmadi N., 1983. Variabilité génétique et hérédité de mécanismes de tolérance à la sécheresse chez (*Oryza sativa* L.). Développement racinaire. *Agron Trop* 38. Pp 118-122.
- Albrecht R., 2007. Co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts. Nouvelle méthodologie du suivi des transformations de la matière organique. Thèse doctorat, Université Paul Cézanne Aix-Marseille III. 189 p.
- Algérie-eco, 2018. <http://www.algerie-eco.com/2017/02/07/cereales-baisse-de-facture-dimportation-2016/>
- Ali Dib T., Monneveux P., et Araus J L., 1992. Adaptation à la sécheresse et notion d'idéotype chez le blé dur. II. Caractères physiologiques d'adaptation. Edit. *Agron*. Vol.12. Pp 381-393.
- Al-Kaisi M M., et Yin X., 2005. Tillage and Crop Residue Effects on Soil Carbon and Carbon Dioxide Emission in Corn-Soybean Rotations. *Journal of Environmental Quality* 34. Pp 437- 445.
- Al Karkour J., 2008. Rotation culturale : céréales/légumineuses fourragères (lupin) Morocco – Bernicha - Rotation culturale : céréales/légumineuses fourragères (lupin), selon un assolement biennal. *WOCAT*. 5p.
- Almaric N., Brizellon M., et Faiq C., 2008. Les rotations en grandes cultures. La vulgarisation de l'agro-écologie de la théorie au terrain, Octobre 2008. Projet INP-ENSAT/Solagro. Pp 1-5.
- Anderson J.M., Huish S.A., Ineson P., Leonard M.A. et Splatt P.R., 1985. Interactions of invertebrates, microorganisms and tree roots in nitrogen and mineral element fluxes in deciduous woodland soils. In : A.H. Fitter, D. Atkinson, D.J. Read and M.B. Usher (Editors), *Ecological Interactions in Soil*. Br. Ecol. Soc. Spec. Publ., 4. Pp 377-392.
- ANDI (Agence Nationale de développement de l'Investissement), 2013. Wilaya de Mostaganem. 22p.
- APS (Algérie Presse Service), 2018. <http://fr2.aps.dz/economie/61814-filiere-cereales-plus-de-35-millions-de-tonnes-de-production-enregistrees-durant-la-saison-2016-2017>
- AS (Agreste Synthèses), 2014. Grandes cultures – Céréales. Céréales - Janvier 2014, Synthèses n° 014/229. Pp 1-7.
- Aubert G., 1978. Méthodes d'analyse des sols. Edition C.R.D.P., Marseilles, France. 360 p.
- Aubert G., 1989. Pédologie. *Encyclopaedia Universalis*, Paris, Corpus 17. Pp 742.

- Baize D., et Girard M.C., 2009. Référentiel pédologique 2008. Association française pour l'étude du sol. Ed. Quae. France. Pp 6-25.
- Baker J.M., Ochsner T.E., Venterea R.T. et Griffis T.J. 2007. Tillage and soil carbon sequestration--What do we really know? *Agriculture, Ecosystems et Environment* 118. Pp 1-5.
- Balesdent J., Chenu C., et Balabane M., 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil and Tillage Research* 53. Pp 215-230.
- Barles S., Breysse D., Guillerme A. et Laeyval C., 1999. Le Sol Urbain. Collection VILLES, Economica, Paris. 278p.
- Baver L.D., Gardner W.H., et Gardner W.R., 1972. Soil physics. 4^{ème} Ed. New York. 498p.
- Ben Mbarek K., 2011. Comportement du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) du type « kabuli » vis-à-vis du stress hydrique et identification de géotypes tolérant la sécheresse. Thèse Doc, Ins Sup Agr de Chott-Mariem. Pp 27-29.
- Bernal M.P., Sánchez-Monedero M.A., Paredes C., et Roig A., 1998. Carbon mineralization from organic wastes at different composting stages during their incubation with soil. *Agriculture, Ecosystems et Environment*, 69. Pp 175-189.
- Blanco-Canqui H., et Lal R., 2007. Soil structure and organic carbon relationships following 10 years of wheat straw management in no-till. *Soil and Tillage Research* 95. Pp 240-254.
- Bobin C., Berbey A., Marquet S., et Trivier V., 2012. Les sols. Guide pédagogique. Les journées de l'éducation relative à l'environnement. Alterre Bourgogne. 32p.
- Boiffin J., et Sebillotte M., 1982. Fertilité, potentialité, aptitudes culturales. Signification actuelle pour l'agronomie. In fertilité du milieu et agriculture. N° special Bull. tech. Inf. Pp 345-353.
- Boizard H., Richard G., Defossez P., Roger-Estrade J. et Boiffin J. 2004. Etude de l'effet à moyen et long terme des systèmes de culture sur la structure d'un sol limoneux-argileux du Nord du Bassin Parisien : les enseignements de l'essai de longue durée d'Estrée-Mons (80). *Etude et Gestion des Sols* 11. Pp 11-20.
- Bonhomme R., Ruget F., Derieux M., et Vincourt P., 1982. Relations entre production de matière sèche aérienne et énergie interceptée chez différents géotypes de maïs. *C.R. Acad. Sci. Paris, série III*, 294. Pp 393-398.
- Bonte J. B., 2010. La rotation des cultures dans les systèmes céréaliers biologiques. Peut-on combiner performances économiques, agronomiques et environnementales ? Première approche d'analyse multicritère. Mémoire de fin d'études – ARVALIS – Institut du Végétal. 61p.
- Bourdeau A., et Ménard G., 1992. Le blé, éléments fondamentaux et transformation. Laval, Les Presses de l'Université de Laval. Pp 2-24.
- Bousba, R., 2012. Caractérisation de la tolérance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Analyse de la physiologie et de la capacité en production. Thèse Doc. Univ Mentouri Constantine. 187p.
- Bousba R., Ykhlef N., et Djekoun A., 2009. Water use efficiency and flag leaf photosynthetic in response to water deficit of durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *World journal of agricultural sciences* 5 (5). Pp 609-616.

- Braham M., 1997. Activité écophysiological, état nutritif et croissance de l'olivier (*Olea europaea* L.) soumis à une contrainte hydrique. Thèse de Doc, Faculté des Sciences Agronomiques de Gand (Belgique). 160p.
- Brévault T., Bikay S., et Naudin K., 2005. Macrofauna pattern in conventional and direct seeding mulchbased cotton cropping systems in North Cameroon. In : IIIrd World congress on conservation agriculture, Nairobi (African conservation tillage network).
- Brown L R., et Wolf E C., 1984. Sol Erosion. Quiet Crisis In the World Economy. Worldwatch. Pp 6.
- Bruckler L., Balesdent J., et Stengel P., 2009. Le Sol. Ed ; Quæ. 180p.
- Busby R.R., Allen T.H., et Gebhart D.L., 2007. Carbon and nitrogen mineralization of non-composted and composted municipal solid waste in sandy soils. Soil Biology et Biochemistry, 39. Pp 1277-1283.
- Calvet R., 2003. Le sol, propriétés et fonctions. Tome 1 ; Constituants et structures, phénomènes aux interfaces. Ed France Agricole. INRA, Paris-Grignon. Pp 27-267.
- Camberato J.J., et Bock B.R., 1990. Spring wheat response to enhanced ammonium supply: II Tillering. Agron J 82. Pp 467-473.
- Carof M., 2008. Fonctionnement de peuplements en semis direct associant du blé tendre d'hiver (*Triticum aestivum* L.) à différentes plantes de couverture en climat tempéré. Thèse Doctorat, Institut National Agronomique Paris-Grignon. 133p.
- Carr P., Horstley R.D., et Poland W.W., 2003. Tillage and seeding effects on wheat cultivars. 1. Grain production. Crop Sci. 43. Pp 202-209.
- Catsky J., 1974a. Direct methods of water content determination. In: SLAVIK, B. (Ed.) Methods of studying plant water relations. Berlin, Springer-Verlag. Pp 121-123.
- Charles R., Cholley E., et Frei P., 2011. Assolement, travail du sol, variété et protection fongicide en production céréalière/production végétale. Recherche Agronomique Suisse 2 (5). Pp 212-219.
- 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.
- Chennafi H., 2012a. Amélioration de la Productivité du Blé en Environnement déficitaire en eau. Revue Agriculture N°3. Pp 24-27.
- Chennafi H., Saci A., Harkati N., Adjabi A., et Mébarkia A., 2011. L'optimisation du rendement de la culture du blé sous l'effet du précédent cultural et l'outil de labour en environnement semi-aride. In : Bouzerzour H., Irekti H., et Vadon B., Quatrièmes rencontres méditerranéennes du semis direct. Options méditerranéennes. Série A : Séminaires Méditerranéens 96 : 213 : 220. Ed. CIHEAM, Paris. 251p.
- CIC., 2014. Conseil International des Céréales. <http://www.agpb.com/documentation-et-publications/recoltes/160-monde-donnees-globales-et-par-pays-sur-le-marche-des-cereales>.
- CNTSID (Centre National des Transmissions et du Système d'Information des Douanes), 2018. Statistiques. Commerce extérieur de l'Algérie. Période ; les huit (08) premiers mois 2018. 16p.

- Connor D.J., 1975. Growth, water relations and yield in wheat. *Austr J Plant Physiol* 2. Pp 353-366.
- Cooper P.J.M., Gregory P.J., Tully D., et Harris H.C., 1987. Improving water use efficiency of annual crops in the rainfed farming systems of West Asia and North Africa. *Experimental Agriculture, Farming Systems series* 5 (23). Pp 113-158.
- Cure B., 1991. Simplification du travail du sol et évolution du parasitisme. Dans. *Perspectives agricoles*, 161. Pp 47-53.
- Davidson R.L., 1969. Effects of soil nutrients and moisture on root/shoot ratio in *Lolium perenne* and *Trifolium repens* L. *Ann Bot.*33. Pp 571-577.
- De Leij F.A.A.M., Whipps J.M., et Lynch J.M., 1993. The use of colony development for characterization of bacterial communities in soil and on roots. *Microbial Ecology*, 27. Pp 81-97.
- De Vita P., Di Paolo E., Fecondo G., Di Fonzo N., et Pisante M., 2007. No till and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in Southern Italy. *Soil and Tillage Res.*, Vol 92. Pp 69-78.
- Debaeke Ph., et Aboudrare A., 2004. Adaptation of crop management to water-limited environments. *Europ. J. of Agronomy* 21. Pp 433-446.
- 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. *Agricultural Water Management* 95. Pp 1323-1334.
- Derpsch R., et Friedrich T., 2009. Global Overview of Conservation Agriculture Adoption. *Proceedings, Lead Papers, 4th World Congress on Conservation Agriculture*, 4-7 February 2009, New Delhi, India, p 429-438.
- Derpsch R., 1998a. Historical review of no-tillage cultivation of crops. In. *Proceedings of the 1st JIRCAS Seminar on Soybean Research on, No-tillage Cultivation and Future Research Needs*. March 5-6, 1998. Iguassu Falls, Brazil, JIRCAS Working Report No 13. Pp 1-18.
- D'Haene K., Vandenbruwane J., De Neve S., Gabriels D., Salomez J., et Hofman G., 2008a. The effect of reduced tillage on nitrogen dynamics in silt loam soils. *European Journal of Agronomy* 28. Pp 449-460.
- Doran, J.W., Sarrantonio, M., et Liebig, M.A., 1996. Soil health and sustainability. In ; *Advances in Agronomy*. Edited by Sparks, D, L., Vol. 56, (Academic Press, San Diego, New York, Boston, Sydney, Tokyo, Toronto). Pp 2-54.
- Dorioz J.M., Robert M., et Chenu C., 1993. The role of roots, fungi and bacteria on clay particle organization. An experimental approach. *Geoderma*, 56. Pp 179-194.
- Doucet R., 2006. Le climat et les sols agricoles. Ed Berger A C, Québec, Canada. Pp 115-131.
- Duncan D B., 1955. Multiple range and multiple F test. *Biometrics*. 11. Pp 1-42.
- Duchaufour Ph., 1995. Pédologie. Sol, végétation, environnement. 4ème Ed Masson. 324p.
- Duchaufour Ph., 1997. Abrégé de pédologie. Sol, végétation, environnement. 5ème éd, Masson, Paris. P 253.

- El Titi A., 2003a. Soil tillage in Agroecosystems. CRC Press, New-York (USA). 384p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations),. 2007. Agriculture de Conservation, <http://www.fao.org/ag/ca/fr/2a.html>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations),. 2014. Food Outlook. Biannual Report On Global Food Markets. Rome ; Italie. 143p.
- FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture),. 2015. Perspectives de récolte et situation alimentaire. Rome, Italie, N° 1, mars 2015. 45p.
- FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture),. 2011. Produire plus avec moins. FAO (Ed), 112 p.
- FAOSTAT (Food And Agriculture Organization Of The United Nations),. 2013. <http://faostat.fao.org>.
- Fellahi Z., Hannachi A., Chennafi H., Makhoul M., et Bouzerzour H., 2013. Effets des résidus et du travail du sol sur la production de la biomasse et le rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf., variété MBB) en lien avec l'utilisation de l'eau dans les conditions semi-arides des Hautes Plaines Sétifiennes. Revue Agriculture. 06. Pp 1-11.
- Feller C., 1995. La matière organique du sol et la recherche d'indicateurs de la durabilité des systèmes de culture dans les régions tropicales semi-arides et subhumides d'Afrique de l'Ouest. In ; Sustainable land management in African semi-arid et subhumid regions. Proceedings of the SCOPE workshop, 15-19 Novembre 1993, Dakar, Sénégal. CIRAD-CA, Montpellier, France, p. 123-130
- Findeling A., Ruy S., et Scopel E., 2003. Modeling the effects of a partial residue mulch on runoff using a physically based approach. J. Hydrol. Vol 275. Pp 49-66.
- Fontaine L., 2011. Rotations pratiquées en grandes cultures biologiques. état des lieux. Conception et évaluation des systèmes de grande culture en AB - Restitution des programmes RotAB et CitodAB 6 avril 2011, Toulouse-Auzeville - Journée Technique Grande Culture biologique ITAB / ARVALIS – Institut du végétal, en collaboration avec l'INRA. Pp 1-13.
- Franzluebbers A.J., et Arshad M.A., 1997. Particulate organic carbon content and potential mineralization as affected by tillage and texture. Soil Science Society of America Journal 61. Pp 1382-1386.
- Friedrich T., 2000. Conceptos y objetivos de la labranza en una agricultura conservacionista. In ; Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. FAO. Soil and Water Bulletin 8. Rome. Pp 29-37.
- Gaillard V., Chenu C., et Recous S. 2003. Carbon mineralisation in soil adjacent to plant residues of contrasting biochemical quality. Soil Biology and Biochemistry, 35, 93-99.
- Gál A., Vyn T.J., Michéli E., Kladvko E.J. et McFee W.W., 2007. Soil carbon and nitrogen accumulation with long-term no-till versus moldboard plowing overestimated with tilled-zone sampling depths. Soil and Tillage Res 96. Pp 42-51.
- Gate P., Blondlot A., Gouache D., Deudon O., et Vignier L., 2008. Impacts du changement climatique sur la croissance et le développement du blé en France. Quelles solutions et quelles actions à développer ? Oléagineux, Corps gras, Lipides 15. Pp 332-336.

- Germon J C., 1991. Le pouvoir épurateur des sols. Le système épuration-transformation : Aspects microbiologiques. Paris, FRA : AFES, 3 p. <https://prodinra.inra.fr/record/141057>.
- Gobat J M., Aragno M., et Matthey W., 1998. Le sol vivant. Bases de pédologie, biologie des sols. 1ère Ed. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne. Pp 43-72.
- Gobat J M., Aragno M., et Matthey W., 2003. Le Sol vivant. Bases de pédologie, biologie des sols, 2 éd, Presses Polytechnique et Universitaires Romandes, Coll. Gérer l'environnement, Lausanne. Pp 11-148.
- Gobat J.M., Aragno M., et Matthey W., 2010. Le sol vivant. Bases de pédologie, biologie des sols. 3^{ème} éd revue et augmenté. Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne. Pp 54-84.
- Godwin, R.J., 1992. Génie agricole au service du développement. Production vivrière en zones de faible pluviosité. Façons culturales appropriées. FAO, Rome, Italie. 116 p.
- Gras R., Hénin S., et Monnier G., 1969. Le profil cultural. L'état physique du sol et ses conséquences agronomiques. Paris, Masson et Cie, 2ème Ed. 332p.
- Grosclaude J.Y., Deberre J.C., 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. Groupe d'agence française de développement. 68p.
- 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 ; G. Monnier, *et al.*, eds. Simplification du travail du sol, INRA (Les Colloques N° 65) ed, Paris, 16 mai 1991. Pp 13-33.
- Guérolde, F., Boudot, J.P., Jacquemin, G., Merlet, D., et Roullier, J., 2000. Macroinvertebrate community loss as a result of headwater stream acidification in the Vosges mountains (N-E France). *Biodiversity & Conservation* 9. Pp 767-783.
- Guerrero C., Gómez I., Mataix-Solera J., Moral R., Mataix-Beneyto J., et Hernández M.T., 2000. Effect of solid waste compost on microbiological and physical properties of a burnt forest soil in field experiment. *Biology and Fertility of Soils*, 32. Pp 410-414.
- Guyomard H., Huyghe C., Peyraud J.L., Boiffin J., Coudurier B., Jeuland F., et Urruty N., 2013. Vers des agricultures à hautes performances. Volume 3. Evaluation des performances de pratiques innovantes en agriculture conventionnelle. Inra. France. Pp 3-33.
- Hamadache A., et Abdellaoui Z., 1999. Effet du précédent cultural en relation avec la fertilisation azotée et le désherbage chimique sur la productivité du blé dur pluvial en zone subhumide. Dans. Premier symposium international sur la filière blé, Alger, 7-9 Février 1999.
- Hannachi A., et Fellahi A., 2010. Effets des résidus et du travail du sol sur le comportement du blé dur (*Triticum durum* Desf.). En milieu semi-aride. Mém d'ing. Univ Ferhat Abbas-Sétif. 70 p.
- Haynes R.J., 2005. Labile Organic Matter Fractions as Central Components of the Quality of Agricultural Soils. An Overview. *Advances in Agronomy* 85. Pp 221-268.

- Heddadj D., Bouvier D., Cotinet P., Guil J., Lebossé D., Le Roux L., Turlin J.P., Pérès G., Corson M., Hallaire V., Ménasseri S., Hoeffner K. Pulleman M, et Faber J., 2014. Techniques culturales sans labour. Guide pratique, 44 p.
- Heller R., Esnault R., et Lance C., 1998. Physiologie végétale. Tome 1- Nutrition. Edit. Dunod. 323p.
- Helms D., 1990. Conserving the Plains : the Soil Conservation Service in the Great Plains. Agricultural History, 64(2): 58-73.
- Huang X.H., Huang H.B., et Gao F.F., 2000. The growth potential generated in citrus fruit under waters stress and its relevant mechanisms. Science Horticulture, Vol. 83. Pp 227-240.
- Husson O., Séguy L., Charpentier H., Rakotondramanana Michellon R., Raharison T., Naudin K., Enjalric F., Moussa N., Razanamparany C., Rasolomanjaka J., Bouzinac S., Chabanne A., Boulakia S., Tivet F., Chabierski S., Razafintsalama H., Rakotoarinivo C., Andrianasolo H., Chabaud F.X., Rakotondralambo T., Rakotondralambo P., et Ignace Ramaroson I., 2013. Manuel pratique du semis direct sur couverture végétale permanente (SCV). Application à Madagascar. GSDM/CIRAD. Antananarivo. Vol I. Cha 1. Pp 3-32.
- Huwe B., 2003. The role of soil tillage for soil structure. In ; El Titi, A., ed. Soil Tillage in Agroecosystems. CRC Press LLC, Washington, D.C. Pp 27-50.
- IFEN (Institut Français de l'Environnement) 1998. Pratiques environnementales des ménages et modes de vie. Les données de l'environnement, n° 41. 4 p.
- Ingham R.E., Trofymow J.A., Ingham E.R., et Coleman D.C., 1985. Interactions of bacteria, fungi and their nematode grazers, effects on nutrient cycling and plant growth. Ecological Monographs, 55. Pp 119-140.
- IPCC (the Intergovernmental Panel on Climate Change)., 2001. Bilan 2001 des changements climatiques. Rapport de synthèse. Contribution du Groupe de travail I au troisième rapport d'évaluation du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. L'université de Cambridge. 97p.
- ITGC (Institut Technique des Grandes Cultures)., 1987. Les principales variétés de céréales cultivées en Algérie. Pp70-71.
- Jacquemin L., 2012. Production d'hémicelluloses de pailles et de sons de blé à une échelle pilote. Etude des performances techniques et évaluation environnementale d'un agro-procédé. Th Doc ; INP Toulouse. France. 345p.
- Jean-françois V., 2009. Comparaison de différentes techniques de travail du Sol en agriculture biologique : effet de la structure et de la localisation des résidus sur les microorganismes du sol et leurs activités de minéralisation du carbone et de l'azote l'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (Agro Paris Tech) thèse de doc. 172p.
- Jones D.L., et Murphy D.V., 2007. Microbial response time to sugar and amino acid additions to soil. Soil Biology et Biochemistry, 39. Pp 2178-2182.
- Jonsen C.R., Jacobsen S.E., Andersen M.N., Nunez N., Andersen S.D., Rasmussen L., et Mogenson V.O., 2000. Leaf gas exchange and water relation characteristics of field quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) during soil drying. European Journal of Agronomy, N°13. Pp 11-25.

- Kandeler E., et Murer E., 1993. Aggregate stability and soil microbial processes in a soil with different cultivation. *Geoderma* 56. Pp 503-513.
- Karssen C. M., 1982. Seasonal patterns dormancy in weed seeds, 243-270. *In* ; Khan, A. A., « The physiology and biochemistry of seed development, dormancy and germination ». Elsevier Bio-medical; Press, 547p.
- Kay B.D., et Vanden Bygaart A.J., 2002. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil and Tillage Research* (66). Pp 107-118.
- Khaldoun A., Chery J., et Monneveux P., 1990. Etude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez l'orge (*Hordeum vulgare* L). Edit. Agro, Vol. 10. Pp 369-379.
- Khaledian M.R., Ruelle P., Mailhol J.C., Delage L., et Rosique P., 2006. Evaluating direct seeding on mulch on a field scale. *Options Méditerranéennes*, Vol 69. Pp 125-129.
- Kies N.B., 1982. Some aspects of water relationship of an F1 interspecific cotton hybrid and it's parents. P.H.D., Thèse de Doctorat, University les Cruces, New Mexico. P 15.
- Kladivko E.J., 2001. Tillage systems and soil ecology. *Soil et Tillage Research* 61. Pp 61-76.
- Klein, H.D., Rippstein, G., Huguenin, J., Toutain, B., Guerin, H., et Louppe, D., 2014. Les cultures fourragères. *Agriculture tropicales en poche*. Quae Cta Presses agronomiques de Gembloux, Blegique. Pp144-147.
- Koch H.J., et Stockfisch N., 2006. Loss of soil organic matter upon ploughing under a loess soil after several years of conservation tillage. *Soil and Tillage Research* 86. Pp 73-83.
- Köller K., 2003. Techniques of Soil Tillage, *In* ; A. El Titi, ed. *Soil Tillage in Agroecosystems*. CRC Press LLC, Boca Raton. Pp 1-25.
- Kravchenko A.G., et Thelen K.D., 2007. Effect of Winter Wheat Crop Residue on No-Till Corn Growth and Development. *Agro Jour*. Vol 99. Pp 549-555.
- Labreuche J., Laurent F., et Roger-Estrade J., 2014. Faut-il travailler le sol ? Acquis et innovations pour une agriculture durable. Édi Quæ, Arvalis - Institut du végétal. 195p.
- Labreuche J., Le Souder C., Castillon P., Ouvry J.F., Real B., et Germon J.C., 2007. Évaluation des impacts environnementaux des techniques culturales sans labour en France. Rapport d'étude. ADEME-ARVALIS Institut du végétal-INRA-APCA-AREAS-ITB-CETIOM-IFVV. 400 p.
- Labreuche J., Lellahi A., Malaval C., et Germon J.C., 2011. Impact des techniques culturales sans labour (TCSL) sur le bilan énergétique et le bilan des gaz à effet de serre des systèmes de culture. *Cahiers de l'Agriculture*, 20 (3). Pp 204-215.
- Lal R., Reicosky D.C., et Hanson J.D., 2007. Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. *Soil and Tillage Research* 93. Pp 1-12.
- Le maghreb (Le Quotidien de l'Economie)., 2015.
http://www.lemaghreb.dz.com/?page=detail_actualiteetrubrique=Nationetid=71656
- Lecoeur, J., 2007. Influence d'un déficit hydrique sur le fonctionnement d'un couvert végétal cultivé. *Dép scie de végé*, Montpellier SupAgro. 12p.

- Lemanceau P., et Heulin T., 1998. La rhizosphère. *In* ; Stengel P, Gelin S (eds) Sol : Interface fragile. INRA Eddition, Paris. Pp 93-106.
- Leport L., Turner N.C., Davies S.L., et Siddique K.H.M., 2006. Variation in pod production and abortion among chickpea cultivars under terminal drought. *Europ. J. of Agron* 24. Pp 236-246.
- Lopez-Bellido L., Lopez-Bellido R.J., Castillo J.E., et Lopez-Bellido F.J., 2000. Effects of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on wheat under rainfed Mediterranean conditions. *Agron. J.* Vol 92. Pp 1054-1063.
- Lynch J.M., 1990. The Rhizosphere. John Wiley et Sons, Ltd, New York. 458p.
- Marot J., 2010. Labour or not labour ? That's the question. *Plein Champ* 18-02-2010. Pp 15.
- Masse J., Labreuche J., Cariolle M., et Reau R., 2004. Techniques sans labour. Bilan des expérimentations françaises. Communications du colloque du 31 mars 2004. Comité d'Orientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'Environnement (CORPEN). Pp 24-34.
- Masutti C., 2004. Le Dust Bowl, la politique de conservation des ressources et les écologues aux Etats-Unis dans les années 1930. *Epistémologie, histoire des sciences et des techniques*, ULP (Strasbourg). 428 pp.
- Mazoyer M., 2002. Larousse agricole. Le monde agricole aux XXI^e siècle. 767p.
- Mazoyer M., et Roudart L., 1997. Histoire des agricultures du monde du néolithique à la crise contemporaine. Éditions du Seuil. 545p.
- McCarty G. W., Lyssenko N.N., et Starr J.L., 1998. Short-term changes in soil carbon and nitrogen pools during tillage management transition. *Soil Science Society of America Journal*, 62, 1564-1571.
- Melander B., Holst N., Rasmussen I A., et Hansen P K., 2012. Direct control of perennial weeds between crops - Implications for organic farming. *Crop Prot* 40. Pp 36-42.
- Monneveux P., 1997. La génétique face au problème de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse. *Espoirs et difficultés. Cahiers "sécheresse"*, Vol. 8, N° 1. Pp 29-37.
- Monneveux P., Chabale R., et Lewichi S., 1993. Etude du comportement de lignées d'orge dans différentes conditions de sécheresse en Espagne. Estimation du rôle de la capacité d'ajustement osmotique dans l'adaptation à la variabilité environnementale. *In* ; tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne. Diversité génétique et amélioration variétale. Colloques 64. Pp101-116.
- Morlon P., 2013a. Les systèmes de culture dans l'histoire européenne pratiques et concepts, réalités et discours, *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 99 (4). Pp 131-139.
- Morlon P., 2013b. Assolement, rotation, succession, système de culture. Fabrication d'un concept, 1750-1810. *In*. Les mots de l'agronomie, Dictionnaire historique et critique. <http://motsagronomie.inra.fr/>
- Moyen P., 2016. Rotation, agriculture. *Encyclopædia Universalis*. Consulté le 11 juillet 2017. URL. <http://www.universalis.fr/encyclopedie/rotation-agriculture/>
- Mrabet R., 1997. Crop residue management and tillage systems for water conservation in a semiarid area of Morocco. Ph D Diss. Colorado State Univ. Fort Collins, CO. USA. 220p.

- Mrabet R., 2002. Wheat yield and water use efficiency under contrasting residue and tillage management systems in a semiarid area of Morocco. *Exp. Agric.* Vol 38. Pp 237-248.
- Mrabet R., 2011. Climate change and carbon sequestration in the Mediterranean basin: Contributions of no-tillage systems. In, Bouzerzour, H., Irekti, H., et Vadon, B., 4. Rencontres Méditerranéennes du Semis Direct. Options Méditerranéennes. Série A. Séminaires Méditerranéens ; n 96. Zaragoza. CIHEAM / ATU-PAM / INRAA / ITGC / FERT, 2011. Pp 165-184.
- Munkholm L.J., Schjonning P., Rasmussen K.J., et Tanderup K., 2003. Spatial and temporal effects of direct drilling on soil structure in the seedling environment. *Soil and Tillage Research* 71. Pp 163-173.
- Nadjem K., 2012. Contribution à l'étude des effets du semis direct sur l'efficacité d'utilisation de l'eau et le comportement variétal de la culture de blé en région semi-aride. Th Magi, Uni FA. 131p.
- Needelman, B.A., Wander, M.M., Bollero, G.A., Boast, C.W., Sims, G.K., et Bullock, D.G., 1999. Interaction of tillage and soil texture. Biologically active soil organic matter in Illinois. *Soil Science Society of America Journal* 63. Pp 1326-1334.
- Nugis E., Velykis A., et Satkus A., 2016. Estimation of soil structure and physical stats in e seedbed under different tillage and environmental conditions, *Zemdirbyste Agriculture*, 103 (3). Pp 243-250.
- Oldeman, L.R., Hakkeling, R.T.A., et Sombroek, W.G., 1991. World map of the status of human induced soil degradation. An Explonatory note. International Soil Reference and Information Center, and the United Nations Environment Program. 35p.
- Oury FX., Rousset M., Heumez E., Auzanneau J., Delhay JM., Deshayes S., Dutriez S., Gouache D., Giraudeau P., Michelet C., Lerebour P., Stragliat J., et Sunderwirth S., 2013. Caractérisation du rythme de développement du blé tendre pour des variétés adaptées aux risques climatiques. *Research Gate*. Pp 50-66.
- Panozzo J.F., et Eagles M.A., 1999. Rate and duration of grain filling and grain nitrogen accumulation of wheat cultivars grown in different environments. *Aust J of Agr Res* 50. Pp 1007-1015.
- Parcevaux S.de., et Huber L., 2007. Bioclimatologie. Concepts et applications. Ed ; Quae. 336p.
- Parkin T.B., 1987. Soil microsites as a source of denitrification variability. *Soil Science Society of America Journal*, 51. Pp 1194-1199.
- Pascual J.A., Hernandez T., García C., et Ayuso M., 1998. Enzymatic activities in an arid soil amended with urban organic wastes: Laboratory experiment. *Bioresource Technology*, 64. Pp 131-138.
- Peigné J., Ball B.C., Roger-Estrade J., et David C., 2007. Is conservation tillage suitable for organic farming ? A review. *Soil Use and Management* 23. Pp 129-144.
- Pekrun C., Kaul H.P., et Claupein W., 2003. Soil tillage for sustainable nutrient management. In ; El Titi, A., (Ed.), *Soil Tillage in Agroecosystems*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. Pp 83-113.
- Perry D.A., Amaranthus, M.P., Borchers, J.G., Borchers, S.L. et Brainerd, R.E. 1989. Bootstrapping in Ecosystems. Internal interactions largely determine productivity and stability in biological systems with strong positive feedback. *BioScience*, 39, 230-237.

- Petard A., 1993. Les méthodes d'analyse ; Tome 1 Analyses de sols. Notes techniques, laboratoire commun d'analyses, Nouméa : ORSTOM n° 5. 196p.
- Pomel S., 2008. La mémoire des sols. Presse universitaire de Bordeaux. France. Pp 122-123.
- Prieur M., 1995. L'agriculture biologique, une agriculture durable ? Droit comparé de l'environnement. Presse Universitaire de Limoges (PULIM), Limoges. 362 p.
- Rasmussen K.J., 1999. Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: A Scandinavian review. Soil et Tillage Research, 53. Pp 3-14.
- Raunet M., Séguy L., et Fovet-Rabot C., 1998. Semis direct sur couverture végétale permanente du sol. De la technique au concept dans Gestion Agrobiologique des Sols et des Systèmes de Culture, Cirad, Anstirabe, Madagascar. Pp 41-49.
- Raven P.H., Berg L.R., et Hassenzahl D.M., 2009. Environnement. 6ème Ed. De Boeck, Bruxelles ; Belgique. Pp 356-365.
- Rekika D., 1997. Identification et analyse génétique des caractères physiologiques liés au rendement en conditions de sécheresse chez le blé dur. Intérêt potentiel des espèces sauvages apparentées pour l'amélioration de ces caractères. Th Doc, ENSAM France: 160 p.
- Renaud S., et Colin D., 2017. Les rotations de culture : Intérêt en Agriculture Biologique. Université de Rennes 1 et Agrocampus Ouest, Master Sciences et Productions Végétales. 25p.
- Robert, M., 2005. Chapitre 35. La ressource en sols. menaces, nouveaux enjeux et mesures de protection. In ; Girard, M.C., Walter, C., Remy, J.C., Berthelin, J., Morel, J.L., 2005. Sols et Environnement. Dunod (Ed.). 816 p.
- Robert M., et Cheverry C., 2009. Le sol. Une contrainte pour la sécurité alimentaire mondiale. Pp 122-125. In ; Stengel P., Bruckler, L., Balesdent, J., 2009. Le Sol. Dossier INRA, Edi Quae, Versailles. 180 p.
- Roger-Estrade J., Richard G., Boizard H., Boiffin J., Caneill J., et Manichon H., 2000. Modelling structural changes in tilled topsoil over time as a function of cropping systems. European Journal of Soil Science 51. Pp 455-474.
- Roger-Estrade J., Richard G., Caneill J., Boizard H., Coquet Y., Defossez P., et Manichon H., 2004b. Morphological characterisation of soil structure in tilled fields. from a diagnosis method to the modelling of structural changes over time. Soil et Tillage Research 79. Pp 33-49.
- Roose E., 1996. Land husbandry. components and strategy. FAO soils Bull 70. 370p.
- Sadeghi H., et Bahrani M.J., 2009. Effects of crop residue and nitrogen rates on yield and yield components of two dryland wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. Jour Plant Production Science 2009. Vol. 12 No 4. Pp 497-502.
- Satorre E.H., et Slafer G.A., 1999. Wheat. ecology and physiology of yield determination. Food products press, New-York, États-Unis. 503p.
- Sauzet G., 2012. Le semis direct sous couvert temporaire, un système adapté à la culture du colza d'hiver. CETIOM. 32p.
- Schaller N., 2012. La diversification des assolements en France : intérêts, freins et enjeux. Analyse, Centre d'études et de prospective. 4p.

- Schneider O., Roger-Estrade J., Aubertot J.N., et Dore T., 2006. Effect of seeders and tillage equipment on vertical distribution of oilseed rape stubble. *Soil and Tillage Research*, 85. Pp 115-122.
- Scopel E., Chavez Guerra E., et Arreola Tostado J.M., 1999. Le semis direct avec paillis de résidus dans l'ouest mexicain une histoire d'eau ? *Agriculture et développement* n° 21. Mars 1999. Pp 71-86.
- Sebillote M., et Meynard J.M., 2004. Enjeux agronomiques, économiques et environnementaux des TSL, Techniques Culturelles sans Labour : impacts économiques et environnementaux. CORPEN, Paris. Pp 14.
- Seguy L., et Bousignac S., 2003. Nouveaux concepts pour une gestion durable des sols cultivés avec les systèmes de semis direct sur couvertures végétales permanentes du sol. L'expérience du CIRAD, les partenariats et les réseaux, CIRAD-CA Montpellier, France, 24 p.
- Séguy L., Bouzinac S., et Maronezzi A.C., 2001. Systèmes de culture et dynamique de la matière organique. (Dossier du semis direct), France Doc. CIRAD. 202 p.
- Séguy L., Bouzinac S., et Maronezzi A.C., 2002. Systèmes de culture et dynamiques de la matière organique. Le semis direct sur couverture permanente, une révolution agricole. CIRAD Editions, Août 2002. P 2.
- Séguy L., Bouzinac S., Martin J., Belot J.L., Maeda A., Maeda E., Ide M.A., et Morita M., 2002. Optimisation des systèmes de culture du coton en semis direct et conseil de gestion. Rapport d'une convention entre groupe MAEDA/CIRAD-CA résultat de la 8^e année 2001/2002. 68 p.
- Séguy L., et Bouzinac S., 1999. Cultiver durablement et proprement les sols de la planète, en semis direct. CIRAD-CA/GEC, Juin 1999. Pp 1-13.
- Séguy L., et Bouzinac S., 2001. Un dossier du semis direct. Systèmes de culture sur couvertures végétales. Stratégies et méthodologie de la Recherche – Action ; Concepts novateurs de gestion durable de la ressource sol ; Suivi-évaluation et analyse d'impacts. Doc. CIRAD-CA / GEC. 63 p.
- Séguy L., et Bouzinac S., 2006. Annual report for 2005. 159 Pp.
<http://agroecologie.cirad.fr/pdf/1133391616.pdf>.
- Séguy L., Husson O., Charpentier H., Bouzinac S., Michellon R., Chabanne A., Boulakia S., Tivet F., Naudin K., Enjalric F., Ramaroson I., et Rakotondramanana., 2009. Principes et fonctionnement des écosystèmes cultivés en semis direct sur couverture végétale permanente. Manuel pratique du semis direct à Madagascar. Vol I, Chap I. Pp 1-32.
- Six J., Elliott E.T., et Paustian K., 2000. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology and Biochemistry* 32. Pp 2099-2103.
- Sposito G., 1989. The chemistry of soils. Oxford University Press, New York, 277 p.
- Stengel P., et Gelin S., 1998. Sol, interface fragile, Coll. Mieux comprendre. INRA Ed. 213p.
- Stockfisch N., Forstreuter T., et Ehlers W., 1999. Ploughing effects on soil organic matter after twenty years of conservation tillage in Lower Saxony, Germany. *Soil and Tillage Research* 52. Pp 91-101.

- Stockfish N., Forstreuter T., et Ehlers W., 1999. Ploughing effects on soil organic matter after twenty years of conservation tillage in Lower Saxony, Germany. *Soil and Tillage Res.* 52. Pp 91-101.
- Taylor A., De-Felice J., et Havill D.C., 1982. Nitrogen metabolism in *Posterium sanguisorba* during water stress. *Ibid*, Vol. 90. Pp 19-25.
- Tebrügge F., et Düring R.A., 1999. Reducing tillage intensity - a review of results from a long-term study in Germany. *Soil and Tillage Research* 53. Pp 15-28.
- Tessier D., 2009. Les sols de France sont-ils fatigués ou appauvris ? Pp 126-127. In ; Stengel, P., Bruckler, L., Balesdent, J., 2009. *Le Sol. Dossier INRA*, Edi Quae, Versailles. 180 p.
- Thorne G.N., et Wood D.W., 1987. Effect of radiation and temperature on tiller survival, grain number and grain yield in winter wheat. *Ann Bot* 59. Pp 413-426.
- Turner N.C., 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant and Soil*, Vol 58. Pp 339-366.
- Turner N.C., 1986. Adaptation to water deficits. a changing perspective. *Edit. Aust, J, Plant Physiol*, Vol. 13. Pp 175-190.
- TuTiempo.net, 2018. Climat MOSTAGANEM. <https://fr.tutiempo.net/climat/2012/ws-604570.html>
- Unger P.W., et Parcker J.J., 1976. Evaporation reduction from soil with wheat, sorghum, and cotton residues. Reprinted from the *Soil Science Society of America Journal*, 40, n°6. Pp 938-942.
- Van Damme P.L.J., 1990. Adaptations to drought stress in plants - Part I - Typology of drought tolerance and resistance. *Mededelingen Van de Faculteit Landbouwwetenschappen, Rijksuniversiteit Gent*. Vol 56, N° 1 à 3. Pp 121-126.
- Van Hess A.F.M., 1997. Growth and morphology of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) and beech (*Fagus sylvatica* L) seedling in relation to shading and drought. *Ann Sci*. Vol. 54. Pp 9-18.
- Viloingt T., Couture D., et Beets B., 2006. La conduite de l'interculture a un impact sur les conditions de semis. *Perspectives Agricoles* 320. Pp 38-43.
- Vogeler I., Horn R., Wetzel H., et Krümmelbein J., 2006. Tillage effects on soil strength and solute transport. *Soil and Tillage Research* 88. Pp 193-204.
- Wardlaw I.F., et Moncur L., 1995. The response of wheat to high temperature following anthesis. I. The rate and duration of kernel filling. *Australian Jour of Plant Physiology* 22. Pp 391-397.
- Weatherley P.E., 1950. Studies in the water relation cotton plants. I the field measurement of water deficit in leaves. *Department of Botany, The University, Manchester, New Phytol*. Vol 49. Pp 81-97.
- Willey R., 1979. Intercropping - its importance and research needs. Part1. Competition and yield advantages. *Field Crop Abstracts*, 32. Pp1-10.
- Wright A.L., Hons F.M., Lemon R.G., McFarland M.L., et Nichols R.L., 2007. Stratification of nutrients in soil for different tillage regimes and cotton rotations. *Soil and Tillage Research* 96. Pp 19-27.

- Zanella C., 2007. La diffusion des Culturales Simplifiées et du Semis Direct dans l'Ouest français. Mémoire de recherche de Master 1 « Développement Durable ». Univ de Bourgogne. Fac des Sci Gabriel. DIJON-France. 108p.
- Zhang Z.J., et Shil L., 2003. Photosynthesis and growth responses of *Parthenocius quinquefolia* L. Planch to soil water availability J. Photosynthesis 42 (1). Pp 87-92.

ANNEXES

Annexe I. Tableaux d'analyses de variances

Les différentes significations sont représentées à la manière suivante ;

NS = non significatif ; * $P < 0,05$ = significatif ; ** $P < 0,01$ = hautement significatif ; *** $P < 0,001$ = très hautement significatif ; (a, b) : groupes homogènes.

Tableau 12. Conductivité électrique - CE (dS.m⁻¹)

Culture		Blé (compagne 1)		Blé (campagne 2)		Petit pois (campagne 2)	
Technique culturale	LC	0,07	NS	0,08	NS	0,05	NS
	SD	0,07		0,06		0,05	

Tableau 13. Potentiel d'hydrogène - pH

Culture		Blé (compagne 1)		Blé (campagne 2)		Petit pois (campagne 2)	
Technique culturale	LC	7,29	NS	7,54	NS	7 ;57	NS
	SD	7,36		7,49		7,52	

Tableau 14. Calcaire total - CaCO₃ (%)

Culture		Blé (compagne 1)		Blé (campagne 2)		Petit pois (campagne 2)	
Technique culturale	LC	0,89	NS	3,11	NS	1,49	NS
	SD	1,96		1,77		0,56	

Tableau 15. Taux de la matière organique du sol - MOS (%)

Culture		Blé (compagne 1)		Blé (campagne 2)		Petit pois (campagne 2)	
Technique culturale	LC	1,52	NS	1,13	NS	0,95	NS
	SD	1,96		0,49		1,09	

Tableau 16. Date de levée des deux culture (JAS)

Culture		Blé (compagne 1)		Blé (campagne 2)		Petit pois (campagne 2)	
Technique culturale	LC	12,33 a	*	10,00 b	***	16,00 b	***
	SD	11,50 b		12,00 a		18,00 a	

Tableau 17. Date de d'épiaison de blé et de floraison du petit pois (JAS)

Culture		Blé (compagne 1)		Blé (campagne 2)		Petit pois (campagne 2)	
Technique culturale	LC	177,33 a	***	83,00	NS	91,00 a	***
	SD	115,00 b		91,33		85,00 b	

Tableau 18. Date de maturité des deux culture (JAS)

Culture		Blé (campagne 1)		Blé (campagne 2)		Petit pois (campagne 2)	
Technique culturale	LC	165,00 b	**	130,00 b	***	123,00 b	***
	SD	170,00 a		142,00 a		133,00 a	

Tableau 19. Biomasse végétale (t.ha⁻¹)

Culture		Blé (campagne 1)		Blé (campagne 2)		Petit pois (campagne 2)	
Technique culturale	LC	106,9	NS	30,6 a	***	5,5	NS
	SD	103,9		14,7 b		8,6	

Tableau 20. Taux de la matière sèche (%)

Culture		Blé (campagne 1)		Blé (campagne 2)		Petit pois (campagne 2)	
Technique culturale	LC	35,5	NS	41,9 b	*	26,7 b	***
	SD	33,9		46,8 a		28,7 a	

Tableau 21. Nombre de plants par m²

Culture		Blé (campagne 1)		Blé (campagne 2)		Petit pois (campagne 2)	
Technique culturale	LC	326	NS	230,5	NS	36,3	NS
	SD	306,2		245,5		30,3	

Tableau 22. Nombre de talles et de ramifications par m²

Culture		Blé (campagne 1)		Blé (campagne 2)		Petit pois (campagne 2)	
Technique culturale	LC	788,7	NS	678 a	**	60,3	NS
	SD	705,8		382,7 b		62,7	

Tableau 23. Nombre d'épis et de gousses par m²

Culture		Blé (campagne 1)		Blé (campagne 2)		Petit pois (campagne 2)	
Technique culturale	LC	388	NS	368,6	NS	116,4	NS
	SD	392,2		240,7		139	

Tableau 24. Nombre de grains par épis et par gousse

Culture		Blé (campagne 1)		Blé (campagne 2)		Petit pois (campagne 2)	
Technique culturale	LC	65,8	NS	50,9 a	***	5,6 b	*
	SD	60,6		25,6 b		8,1 a	

Tableau 25. Poids de milles grains (g)

Culture		Blé (campagne 1)		Blé (campagne 2)		Petit pois (campagne 2)	
Technique culturale	LC	42,6	NS	27,9	NS	278,2 b	*
	SD	42,6		36,6		399,4 a	

Tableau 26. Rendement grains (Qx.ha⁻¹)

Culture		Blé (campagne 1)		Blé (campagne 2)		Petit pois (campagne 2)	
Technique culturale	LC	65,8	NS	40,7 a	***	17,5 b	*
	SD	62,5		12,7 b		46,9 a	

Tableau 27. Rendement paille (Qx.ha⁻¹)

Culture		Blé (campagne 1)		Blé (campagne 2)		Petit pois (campagne 2)	
Technique culturale	LC	52,5	NS	64,3 a	***	6,8 b	*
	SD	57,4		15,7 b		9,6 a	

Annexe II. Photos des expérimentations réalisées au niveau de l'atelier de Mazagan – Mostaganem entre 2012/2014.



Figure 50. La levée en LC (campagne 1)



Figure 51. La levée en SD (campagne 1)



Figure 52. La levée en LC (campagne 2)



Figure 53. La levée en SD (campagne 2)



Figure 54. Tallage en LC (campagne 1)



Figure 55. Tallage en SD (campagne 1)



Figure 56. Tallage en LC (campagne 2)



Figure 57. Tallage en SD (campagne 2)



Figure 58. Tallage du blé en SD (campaña 1)



Figure 59. Tallage du blé en LC (campaña 1)



Figure 60. Tallage du blé en SD (campaña 2)

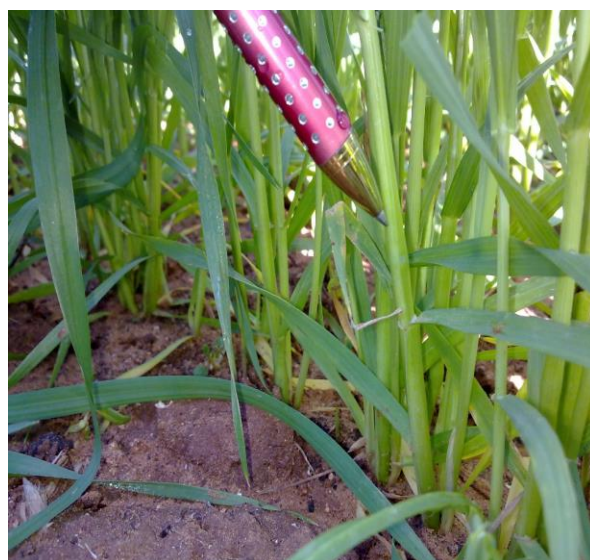


Figure 61. Tallage du blé en LC (campaña 2)



Figure 62. Montaison en LC (campagne 1)



Figure 63. Montaison en SD (campagne 1)



Figure 64. Montaison en LC (campagne 2)



Figure 65. Montaison en SD (campagne 2)



Figure 66. Epiaison en LC (campagne 1)



Figure 67. Epiaison en SD (campagne 1)



Figure 68. Epiaison en LC (campagne 2)



Figure 69. Epiaison en SD (campagne 2)



Figure 70. Maturité en LC (campagne 1)



Figure 71. Maturité en SD (campagne 1)



Figure 72. Maturité du blé en LC (campagne 2)



Figure 73. Maturité du blé en SD (campagne 2)

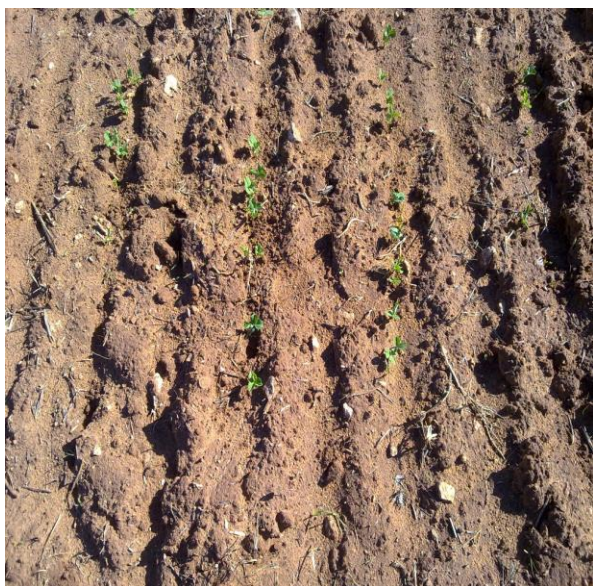


Figure 74. La levée du pois en LC (campagne 2)



Figure 75. La levée du pois en SD (campagne 2)



Figure 76. Floraison du pois en LC (campagne 2)

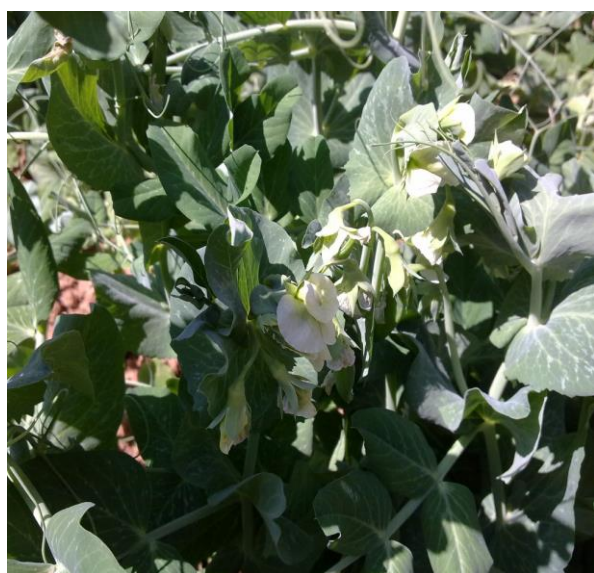


Figure 77. Floraison du pois en SD (campagne 2)



Figure 78. Plants de pois en pleine production en LC (campagne 2)



Figure 79. Plants de pois en pleine production en SD (campagne 2)

Annexe III. Matrices des corrélations – blé tendre (campagne 1)

	<i>Dat Lv</i>	<i>Dat Ep</i>	<i>Dat Mat</i>	<i>N Plt/m²</i>	<i>N Tal/m²</i>	<i>Biom</i>	<i>MS</i>	<i>N Ep</i>	<i>Nb Gr/Ep</i>	<i>PMG</i>	<i>Rdt Gr</i>	<i>Rdt Pai</i>	<i>H% fev</i>	<i>H% mar</i>	<i>H% avr</i>	<i>H% mai</i>	<i>H fev</i>	<i>H mai</i>	<i>SF</i>	<i>RWC avr</i>	<i>RWC mai</i>
<i>Dat Lv</i>	1	0,35	-0,51	0,15	0,36	-0,32	0,58	0,39	0,64	-0,03	0,33	-0,26	-0,14	0,29	-0,44	-0,35	0,76	0,74	0,39	-0,78	-0,39
<i>Dat Ep</i>	0,35	1	-0,53	-0,14	-0,15	-0,26	0,03	0,05	0,66	0,71	0,04	-0,90	-0,53	-0,72	-0,36	-0,51	0,67	0,72	-0,31	-0,20	0,20
<i>Dat Mat</i>	-0,51	-0,53	1	-0,48	-0,62	-0,17	-0,52	0,14	-0,87	0,03	-0,01	0,77	0,64	0,14	0,27	0,91	-0,19	-0,42	0,39	0,01	0,22
<i>N Plt/m²</i>	0,15	-0,14	-0,48	1	0,60	0,12	0,76	0,14	0,04	-0,75	-0,09	-0,21	0,21	0,54	0,50	-0,38	-0,39	0,05	-0,46	-0,13	-0,60
<i>N Tal/m²</i>	0,36	-0,15	-0,62	0,60	1	0,67	0,80	-0,46	0,35	-0,65	0,50	-0,08	-0,41	0,41	-0,32	-0,73	-0,15	-0,19	0,11	0,08	-0,77
<i>Biom</i>	-0,32	-0,26	-0,17	0,12	0,67	1	0,25	-0,94	-0,06	-0,36	0,54	0,12	-0,55	-0,04	-0,38	-0,50	-0,45	-0,73	0,10	0,68	-0,43
<i>MS</i>	0,58	0,03	-0,52	0,76	0,80	0,25	1	-0,01	0,23	-0,65	0,52	-0,18	-0,05	0,54	-0,10	-0,56	0,12	0,21	0,09	-0,42	-0,92
<i>N Ep</i>	0,39	0,05	0,14	0,14	-0,46	-0,94	-0,01	1	-0,02	0,03	-0,50	0,01	0,70	0,36	0,51	0,49	0,32	0,67	-0,07	-0,76	0,19
<i>Nb Gr/Ep</i>	0,64	0,66	-0,87	0,04	0,35	-0,06	0,23	-0,02	1	0,35	0,00	-0,73	-0,70	-0,33	-0,51	-0,74	0,52	0,59	-0,14	-0,13	0,07
<i>PMG</i>	-0,03	0,71	0,03	-0,75	-0,65	-0,36	-0,65	0,03	0,35	1	-0,18	-0,46	-0,38	-0,87	-0,35	0,04	0,55	0,41	-0,09	0,05	0,73
<i>Rdt Gr</i>	0,33	0,04	-0,01	-0,09	0,50	0,54	0,52	-0,50	0,00	-0,18	1	0,14	-0,34	0,10	-0,71	-0,33	0,36	-0,13	0,67	-0,17	-0,72
<i>Rdt Pai</i>	-0,26	-0,90	0,77	-0,21	-0,08	0,12	-0,18	0,01	-0,73	-0,46	0,14	1	0,56	0,60	0,14	0,70	-0,36	-0,61	0,61	0,02	-0,12
<i>H% fev</i>	-0,14	-0,53	0,64	0,21	-0,41	-0,55	-0,05	0,70	-0,70	-0,38	-0,34	0,56	1	0,62	0,75	0,81	-0,23	0,00	0,05	-0,43	-0,03
<i>H% mar</i>	0,29	-0,72	0,14	0,54	0,41	-0,04	0,54	0,36	-0,33	-0,87	0,10	0,60	0,62	1	0,33	0,26	-0,24	-0,13	0,34	-0,42	-0,59
<i>H% avr</i>	-0,44	-0,36	0,27	0,50	-0,32	-0,38	-0,10	0,51	-0,51	-0,35	-0,71	0,14	0,75	0,33	1	0,47	-0,60	-0,09	-0,60	0,01	0,16
<i>H% mai</i>	-0,35	-0,51	0,91	-0,38	-0,73	-0,50	-0,56	0,49	-0,74	0,04	-0,33	0,70	0,81	0,26	0,47	1	-0,14	-0,17	0,26	-0,18	0,38
<i>H fev</i>	0,76	0,67	-0,19	-0,39	-0,15	-0,45	0,12	0,32	0,52	0,55	0,36	-0,36	-0,23	-0,24	-0,60	-0,14	1	0,80	0,42	-0,69	-0,01
<i>H mai</i>	0,74	0,72	-0,42	0,05	-0,19	-0,73	0,21	0,67	0,59	0,41	-0,13	-0,61	0,00	-0,13	-0,09	-0,17	0,80	1	-0,09	-0,76	0,08
<i>SF</i>	0,39	-0,31	0,39	-0,46	0,11	0,10	0,09	-0,07	-0,14	-0,09	0,67	0,61	0,05	0,34	-0,60	0,26	0,42	-0,09	1	-0,37	-0,32
<i>RWC avr</i>	-0,78	-0,20	0,01	-0,13	0,08	0,68	-0,42	-0,76	-0,13	0,05	-0,17	0,02	-0,43	-0,42	0,01	-0,18	-0,69	-0,76	-0,37	1	0,31
<i>RWC mai</i>	-0,39	0,20	0,22	-0,60	-0,77	-0,43	-0,92	0,19	0,07	0,73	-0,72	-0,12	-0,03	-0,59	0,16	0,38	-0,01	0,08	-0,32	0,31	1

Matrices des corrélations – blé tendre (campagne 2)

	<i>Dat Lv</i>	<i>Dat Ep</i>	<i>Dat Mat</i>	<i>Nb Plt</i>	<i>Nb Tal</i>	<i>Biom</i>	<i>MS (%)</i>	<i>Nb Ep</i>	<i>Nb Gr/Ep</i>	<i>PMG</i>	<i>Rdt Gr</i>	<i>Rdt Pai</i>	<i>H% fev</i>	<i>H% mar</i>	<i>H% avr</i>	<i>H% mai</i>	<i>SF</i>	<i>H avr</i>	<i>H mai</i>	<i>RWC avr</i>	<i>RWC mai</i>
<i>Dat Lv</i>	1	0,87	1,00	0,39	-0,96	-0,98	0,79	-0,86	-0,99	0,92	-0,92	-0,96	-0,87	0,66	0,92	0,70	-0,93	-0,95	-0,97	0,92	0,97
<i>Dat Ep</i>	0,87	1	0,87	0,73	-0,93	-0,84	0,86	-0,76	-0,80	0,94	-0,80	-0,83	-0,82	0,40	0,82	0,70	-0,78	-0,77	-0,83	0,92	0,89
<i>Dat Mat</i>	1,00	0,87	1	0,39	-0,96	-0,98	0,79	-0,86	-0,99	0,92	-0,92	-0,96	-0,87	0,66	0,92	0,70	-0,93	-0,95	-0,97	0,92	0,98
<i>Nb Plt</i>	0,39	0,73	0,39	1	-0,48	-0,41	0,62	-0,12	-0,24	0,49	-0,27	-0,28	-0,48	-0,29	0,26	0,45	-0,30	-0,28	-0,31	0,61	0,49
<i>Nb Tal</i>	-0,96	-0,93	-0,96	-0,48	1	0,95	-0,90	0,86	0,92	-0,96	0,96	0,97	0,76	-0,67	-0,88	-0,64	0,93	0,90	0,96	-0,95	-0,91
<i>Biom</i>	-0,98	-0,84	-0,98	-0,41	0,95	1	-0,84	0,78	0,96	-0,87	0,92	0,95	0,81	-0,62	-0,85	-0,67	0,95	0,94	0,96	-0,94	-0,95
<i>MS (%)</i>	0,79	0,86	0,79	0,62	-0,90	-0,84	1	-0,61	-0,72	0,83	-0,86	-0,81	-0,51	0,45	0,59	0,55	-0,83	-0,70	-0,81	0,89	0,73
<i>Nb Ep</i>	-0,86	-0,76	-0,86	-0,12	0,86	0,78	-0,61	1	0,89	-0,91	0,85	0,88	0,75	-0,79	-0,92	-0,66	0,76	0,78	0,85	-0,69	-0,79
<i>Nb Gr/Ep</i>	-0,99	-0,80	-0,99	-0,24	0,92	0,96	-0,72	0,89	1	-0,89	0,90	0,95	0,85	-0,72	-0,93	-0,70	0,91	0,94	0,95	-0,86	-0,95
<i>PMG</i>	0,92	0,94	0,92	0,49	-0,96	-0,87	0,83	-0,91	-0,89	1	-0,87	-0,89	-0,82	0,58	0,87	0,79	-0,80	-0,78	-0,87	0,85	0,88
<i>Rdt Gr</i>	-0,92	-0,80	-0,92	-0,27	0,96	0,92	-0,86	0,85	0,90	-0,87	1	0,99	0,63	-0,82	-0,85	-0,47	0,97	0,91	0,98	-0,90	-0,83
<i>Rdt Pai</i>	-0,96	-0,83	-0,96	-0,28	0,97	0,95	-0,81	0,88	0,95	-0,89	0,99	1	0,73	-0,81	-0,92	-0,52	0,98	0,96	1,00	-0,91	-0,90
<i>H% fev</i>	-0,87	-0,82	-0,87	-0,48	0,76	0,81	-0,51	0,75	0,85	-0,82	0,63	0,73	1	-0,35	-0,87	-0,80	0,66	0,78	0,75	-0,75	-0,93
<i>H% mar</i>	0,66	0,40	0,66	-0,29	-0,67	-0,62	0,45	-0,79	-0,72	0,58	-0,82	-0,81	-0,35	1	0,73	0,14	-0,77	-0,73	-0,78	0,53	0,53
<i>H% avr</i>	0,92	0,82	0,92	0,26	-0,88	-0,85	0,59	-0,92	-0,93	0,87	-0,85	-0,92	-0,87	0,73	1	0,58	-0,84	-0,92	-0,92	0,82	0,92
<i>H% mai</i>	0,70	0,70	0,70	0,45	-0,64	-0,67	0,55	-0,66	-0,70	0,79	-0,47	-0,52	-0,80	0,14	0,58	1	-0,42	-0,46	-0,51	0,53	0,70
<i>SF</i>	-0,93	-0,78	-0,93	-0,30	0,93	0,95	-0,83	0,76	0,91	-0,80	0,97	0,98	0,66	-0,77	-0,84	-0,42	1	0,97	0,98	-0,94	-0,88
<i>H avr</i>	-0,95	-0,77	-0,95	-0,28	0,90	0,94	-0,70	0,78	0,94	-0,78	0,91	0,96	0,78	-0,73	-0,92	-0,46	0,97	1	0,98	-0,92	-0,94
<i>H mai</i>	-0,97	-0,83	-0,97	-0,31	0,96	0,96	-0,81	0,85	0,95	-0,87	0,98	1,00	0,75	-0,78	-0,92	-0,51	0,98	0,98	1	-0,94	-0,92
<i>RWC avr</i>	0,92	0,92	0,92	0,61	-0,95	-0,94	0,89	-0,69	-0,86	0,85	-0,90	-0,91	-0,75	0,53	0,82	0,53	-0,94	-0,92	-0,94	1	0,93
<i>RWC mai</i>	0,97	0,89	0,98	0,49	-0,91	-0,95	0,73	-0,79	-0,95	0,88	-0,83	-0,90	-0,93	0,53	0,92	0,70	-0,88	-0,94	-0,92	0,93	1

Matrice des corrélations – petit pois (campagne 2)

	<i>Dat Lv</i>	<i>Dat Fl</i>	<i>Dat Mt</i>	<i>Nb Plt Lv</i>	<i>Nb Ram</i>	<i>Biom</i>	<i>MS</i>	<i>Nb Gs</i>	<i>Nb Gr/Gs</i>	<i>PMG</i>	<i>Rdt Gr</i>	<i>Rdt Pai</i>	<i>H% fev</i>	<i>H% mar</i>	<i>H% avr</i>	<i>H% mai</i>	<i>SF</i>	<i>H avr</i>	<i>H mai</i>	<i>RWC avr</i>	<i>RWC mai</i>
<i>Dat Lv</i>	1	-1,00	1,00	-0,35	0,15	0,72	0,48	0,96	0,97	0,95	0,87	0,60	0,11	-0,15	0,34	0,81	0,97	0,52	0,54	0,97	0,91
<i>Dat Fl</i>	-1,00	1	-1,00	0,35	-0,15	-0,72	-0,48	-0,96	-0,97	-0,94	-0,87	-0,60	-0,11	0,15	-0,35	-0,81	-0,97	-0,51	-0,54	-0,97	-0,91
<i>Dat Mt</i>	1,00	-1,00	1	-0,35	0,15	0,72	0,48	0,96	0,97	0,95	0,87	0,60	0,11	-0,15	0,35	0,81	0,97	0,51	0,54	0,97	0,91
<i>Nb Plt Lv</i>	-0,35	0,35	-0,35	1	-0,36	0,33	-0,92	-0,23	-0,49	-0,29	0,03	0,16	-0,10	-0,33	-0,81	0,16	-0,53	-0,07	0,02	-0,12	-0,67
<i>Nb Ram</i>	0,15	-0,15	0,15	-0,36	1	0,12	0,13	-0,01	0,30	0,04	-0,08	-0,39	0,95	0,14	0,28	-0,12	0,19	-0,51	-0,50	0,08	0,27
<i>Biom</i>	0,72	-0,72	0,72	0,33	0,12	1	-0,20	0,73	0,63	0,66	0,80	0,70	0,24	-0,49	-0,12	0,92	0,58	0,28	0,38	0,86	0,43
<i>MS</i>	0,48	-0,48	0,48	-0,92	0,13	-0,20	1	0,34	0,53	0,36	0,06	0,10	-0,12	0,06	0,74	0,01	0,61	0,11	0,03	0,28	0,78
<i>Nb Gs</i>	0,96	-0,96	0,96	-0,23	-0,01	0,73	0,34	1	0,93	0,99	0,96	0,64	-0,01	-0,05	0,27	0,86	0,93	0,71	0,74	0,96	0,79
<i>Nb Gr/Gs</i>	0,97	-0,97	0,97	-0,49	0,30	0,63	0,53	0,93	1	0,94	0,82	0,47	0,23	0,01	0,47	0,72	0,99	0,51	0,52	0,91	0,91
<i>PMG</i>	0,95	-0,94	0,95	-0,29	0,04	0,66	0,36	0,99	0,94	1	0,95	0,54	0,04	0,08	0,28	0,79	0,93	0,73	0,76	0,92	0,78
<i>Rdt Gr</i>	0,87	-0,87	0,87	0,03	-0,08	0,80	0,06	0,96	0,82	0,95	1	0,61	0,01	-0,02	0,01	0,88	0,79	0,75	0,80	0,92	0,59
<i>Rdt Pai</i>	0,60	-0,60	0,60	0,16	-0,39	0,70	0,10	0,64	0,47	0,54	0,61	1	-0,43	-0,71	0,23	0,88	0,55	0,46	0,50	0,69	0,41
<i>H% fev</i>	0,11	-0,11	0,11	-0,10	0,95	0,24	-0,12	-0,01	0,23	0,04	0,01	-0,43	1	0,17	-0,02	-0,08	0,09	-0,49	-0,45	0,10	0,14
<i>H% mar</i>	-0,15	0,15	-0,15	-0,33	0,14	-0,49	0,06	-0,05	0,01	0,08	-0,02	-0,71	0,17	1	-0,05	-0,47	-0,05	0,29	0,24	-0,27	-0,10
<i>H% avr</i>	0,34	-0,35	0,35	-0,81	0,28	-0,12	0,74	0,27	0,47	0,28	0,01	0,23	-0,02	-0,05	1	0,12	0,55	0,12	0,05	0,18	0,56
<i>H% mai</i>	0,81	-0,81	0,81	0,16	-0,12	0,92	0,01	0,86	0,72	0,79	0,88	0,88	-0,08	-0,47	0,12	1	0,73	0,55	0,62	0,91	0,54
<i>SF</i>	0,97	-0,97	0,97	-0,53	0,19	0,58	0,61	0,93	0,99	0,93	0,79	0,55	0,09	-0,05	0,55	0,73	1	0,54	0,54	0,89	0,94
<i>H avr</i>	0,52	-0,51	0,51	-0,07	-0,51	0,28	0,11	0,71	0,51	0,73	0,75	0,46	-0,49	0,29	0,12	0,55	0,54	1	0,99	0,51	0,29
<i>H mai</i>	0,54	-0,54	0,54	0,02	-0,50	0,38	0,03	0,74	0,52	0,76	0,80	0,50	-0,45	0,24	0,05	0,62	0,54	0,99	1	0,57	0,28
<i>RWC avr</i>	0,97	-0,97	0,97	-0,12	0,08	0,86	0,28	0,96	0,91	0,92	0,92	0,69	0,10	-0,27	0,18	0,91	0,89	0,51	0,57	1	0,80
<i>RWC mai</i>	0,91	-0,91	0,91	-0,67	0,27	0,43	0,78	0,79	0,91	0,78	0,59	0,41	0,14	-0,10	0,56	0,54	0,94	0,29	0,28	0,80	1

Comparative study of the evolution of soft wheat (*Triticum aestivum* L.) installed in no-tillage and conventional tillage

Djamel Eddine EL MEZOUED (Corresponding author)

Abdelhamid Ibn Badis University (UMAB), Faculty of Natural Sciences and Life, Agronomy
department, LBCES laboratory, BP 17 Bordji Amar 27000, Mostaganem, Algeria.
Tel: 00213776333384 E-mail: djameleddine34@gmail.com

Mohammed BENKHELIFA

Abdelhamid Ibn Badis University (UMAB), Faculty of Natural Sciences and Life, Agronomy
department, LBCES laboratory, BP 17 Bordji Amar 27000, Mostaganem, Algeria.
E-mail: benkhellifa@hotmail.com

Danilo RHEINHEIMER DOS SANTOS

Soil Department, Federal University of Santa Maria, 97.105-900 Santa Maria, Rio Grande do Sul,
Brazil.
E-mail: danilonesaf@gmail.com

Abstract

The problematic of cereal production in Algeria raises three determinants factors: climatic, edaphic and agronomic. To face up to this situation, conservation agriculture offers an opportunity to reverse this alarming trend. To release an at the same time productive and sustainable system of production. A culture of soft wheat was set up to see them behavior of two tillage systems [no-tillage (NT) and conventional tillage (CT)]. For this objective, two experiments have been realized between 2012 and 2014, at the site of Mazagran - Mostaganem (west of Algeria). The obtained results have concluded that the CT has positive effects on the culture of soft wheat in terms of precocity in lifting date and maturity date, in number of tillers/m², in aerial biomass produced, and especially on yield and its components except the number of spikes/m² and thousand grain weight. As against the NT show dominant with a slight difference in thousand grain weight.

Keywords: Soft wheat, no-tillage, conventional tillage.

1. Introduction

In Algeria, food security of the population depends in very large part of cereals whose mainly wheat. Wheat production is highly dependent on local climatic variations and interannual (Bousba, 2012). By the same author, national production contributes only 20% of human consumption, so the difference is compensated by imports.

Problems of fertility of tilled soils lead to the development of alternative techniques to tillage, grouped under the conservation tillage term (Köller, 2003).

According to (Hatfield et al., 2001), the NT allows to seeding directly in bare soil or covered by crop residues, without prior recourse to tillage and preparing the seed bed. The residues protects the soil surface from erosion, improve its organic matter content, reduce evaporation and improve the infiltration of water, thus increasing the proportion of usable humidity by culture. And especially, it reduces in the long-term effects of water deficit, the installation costs of the culture. It protects the soil more, it improves crop performance and reduce carbon dioxide emissions (Mrabet, 2011).

Résumé

En Algérie, près de 95 % des sols sont concernés par un climat aride et semi-aride. La production de blé est, dans ce cas, soumise au chevauchement d'une sécheresse quasi annuelle avec la phase sensible de remplissage du grain qui affecte fortement les rendements obtenus. En effet, le rendement moyen obtenu depuis plusieurs années ne dépasse pas les 20 quintaux par hectare. Dans ces conditions, il est recommandé de prévoir une irrigation d'appoint qui n'est pas toujours réalisable étant donné les surfaces importantes qui caractérisent la production de blé. Le semis direct peut constituer une alternative puisqu'il permet de diminuer l'évaporation d'eau grâce à la couverture végétale qui se forme à la surface du sol par accumulation des résidus de cultures.

L'objectif du présent travail est une étude comparative des effets du labour conventionnel et du semis direct sur la croissance et le développement d'une culture de blé tendre sous les conditions d'un climat semi-aride du plateau de Mostaganem. Pour cela, deux expérimentations étaient installées sur le site de Mazagran - Mostaganem (Ouest de l'Algérie) pour deux saisons consécutives (2012-2013 et 2013-2014). Un dispositif en blocs complets aléatoires avec trois répétitions était mis en place.

Les paramètres phénologiques, morphophysiologiques et les composantes du rendement étaient suivis sur la culture du blé tendre. Sur les échantillons prélevés dans le sol étaient analysés les paramètres physico-chimiques et hydriques.

Les principaux résultats de cette étude montrent que les parcelles menées en labour conventionnel enregistrent des résultats physico-chimiques du sol plus intéressants par rapport à celles menées en semis direct. Dans ce cas, les paramètres mesurés sur la culture : hauteur des plants, surface foliaire, biomasse aérienne, nombre de talles, d'épis et de grains par mètre carré ainsi que les rendements en grains et en paille sont meilleurs en conduite conventionnelle. A contrario, la conduite en semis direct enregistre les plus grandes valeurs en humidité du sol, en taux de matière sèche, en nombre de plants par mètre carré, en poids de mille grains (PMG) et en teneur en relative de la plante (RWC).

Cette étude montre que le semis direct mené en conditions semi-arides, par rapport au labour conventionnel, s'avère bénéfique pour la culture du blé tendre (variété Aïn Abid), particulièrement en ce qui concerne la disponibilité de l'eau durant la phase sensible de développement de la culture (remplissage du grain).

Mots clés. Semis direct, labour conventionnel, climat semi-aride, paramètres physico-chimiques et hydriques du sol, paramètres morphométriques du blé tendre.

المخلص

في الجزائر، حوالي 95% من التربة تتأثر بمناخ جاف وشبه جاف. يخضع إنتاج القمح في هذه الحالة إلى تدخل الجفاف السنوي تقريباً مع المرحلة الحساسة من تعبئة الحبوب التي تؤثر بشدة على الغلة التي يتم الحصول عليها. في الواقع، لا يتجاوز متوسط العائد الذي يتم الحصول عليه لعدة سنوات 20 قنطاراً للهكتار الواحد. في ظل هذه الظروف، يوصى بتوفير الري التكميلي الذي لا يكون مجدياً دائماً نظراً للمناطق الكبيرة التي تتميز بإنتاج القمح. يمكن أن يكون البذر المباشر بديلاً لأنه يقلل من تبخر الماء بفضل الغطاء النباتي الذي يتكون على سطح التربة من خلال تراكم مخلفات المحاصيل.

الهدف من هذا البحث هو دراسة مقارنة لتأثير الحراثة التقليدية والبذر المباشر على نمو وتطور محصول القمح اللين تحت الظروف شبه جافة في هضبة مستغانم. لهذا، تم إجراء تجربتين في موقع مزگران - مستغانم (غرب الجزائر) لموسمين متتاليين (2012-2013 و 2013-2014). تم إنشاء مخطط لزراعة بترتيب كل نظام حراثة ثلاث مرات.

كانت المكونات الفينولوجية والمورفوفيزيولوجية وكذلك المحصول ومكوناته. وتم أيضاً أخذ عينات التربة وتحليلها من خلال المعلومات الفيزيوكيميائية والهيدرولوجية. أظهرت نتائج التجارب التي أجريت بوضوح التأثير الإيجابي لبذر المباشر؛ على الخصائص الفيزيوكيميائية للتربة مقارنة بتلك التي أجريت في الحراثة التقليدية. في هذه الحالة، تكون المعلومات المقاسة على المحصول : ارتفاع طول النباتات، مساحة الورقة، الكتلة الخضراء، عدد الفروع، عدد السنابل وعدد الحبوب. السنبل، وكذلك محصول الحبوب والتبن أفضل في الحراثة التقليدية. في المقابل، تسجل عمليات البذر المباشر أعلى القيم في تطور رطوبة التربة، المادة الجافة، وعدد النباتات في المتر المربع، وزن الألف حبة ومحتوى الماء النسبي.

تبين هذه الدراسة أن البذر المباشر في ظل ظروف شبه جاف، مقارنة بالحراثة التقليدية، مفيد لزراعة القمح اللين (صنف عين عبيد)، لا سيما فيما يتعلق بتوافر المياه خلال المرحلة الحساسة من تطوير المحصول (تعبئة الحبوب).

الكلمات المفتاحية. البذر المباشر، الحراثة التقليدية، المناخ شبه جاف، المعلومات الفيزيوكيميائية والهيدرولوجية للتربة، المعلومات المورفومترية للقمح اللين.

Abstract

In Algeria, nearly 95% of soils are affected by an arid and semi-arid climate. Wheat production in this case is subject to the overlap of an almost annual drought with the sensitive phase of grain filling which strongly affects the yields obtained. In fact, the average yield obtained for several years does not exceed 20 quintals per hectare. Under these conditions, it is recommended to provide supplementary irrigation that is not always feasible given the large areas that characterize wheat production. Direct seeding can be an alternative since it reduces the evaporation of water Through to the vegetal cover that forms on the soil surface by accumulation of crop residues.

The objective of this work is a comparative study of the effects of conventional tillage and direct seeding on the growth and development of a soft wheat crop under the semi-arid conditions of the Mostaganem plateau. For this, two experiments were installed on the site of Mazagran - Mostaganem (Western Algeria) for two consecutive seasons (2012-2013 and 2013-2014). A complete block device with three repetitions was set up.

The phenological, morphophysiological parameters and yield components were followed on the cultivation of wheat. Samples taken from the soil were analyzed for physicochemical and water parameters.

The main results of this study show that conventional tillage plots record better soil physico-chemical results compared to those conducted in no-till. In this case, the parameters measured on the crop : height of the plants, leaf area, above-ground biomass, number of tillers, ears and grains per square meter, as well as grain and straw yields are better in conventional tillage. In contrast, no-till operations record the highest soil moisture, dry matter, number of plants per square meter, thousand grain weight (PMG), and relative water content (RWC).

This study shows that direct seeding under semi-arid conditions, compared with conventional tillage, is beneficial for the cultivation of soft wheat (Aïn Abid variety), particularly with regard to the availability of water during the sensitive phase of crop development (grain filling).

Key words. Direct seeding, conventional tillage, semi-arid climate, physico-chemical and soil moisture parameters, morphometric parameters of soft wheat.