الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Université Ferhat Abbas Sétif
Faculté des Sciences de la
Nature et de la vie

جامعة فرحات عباس، سطيف
كلية علوم الطبيعة و الحياة

Département des Sciences Agronomiques N°…/SNV/2013

MÉMOIRE

Présenté par: **BELAGROUZ Abdenour**

Pour obtenir le diplôme de **Magister**

Option: **Production Végétale et Agriculture de Conservation**

THÈME

Analyse du Comportement du Blé Tendre, Variété El WIFAK (*Triticum aestivum L.*) Conduite en Labour Conventionnel, Travail Minimum et Semis Direct sur Les Hautes Plaines Sétifiennes

Soutenu publiquement le 28/4/2013

DEVANT LE JURY

Président	H. BOUZERZOUR	Pr	FAC SNV.UFA. Sétif
Rapporteur	H.CHENNAFI	MCA	FAC SNV.UFA. Sétif
Examinateur	M. FENNI	Pr	FAC SNV.UFA. Sétif
Examinateur	A. MEBARKIA	MCA	FAC SNV.UFA. Sétif

Année universitaire: 2012/2013

Remerciements

Au nom d'ALLAH, le Clément et le Miséricordieux.

A travers cette thèse de magister, je tiens à remercier toutes les personnes qui ont eu contribué de près ou de loin à construire ce travail, et à me former dès ma tendre enfance.

J'aimerai d'abord exprimer ma gratitude à mon encadreur ***Pr. CHENNAFI Houria*** *pour avoir accepté de bon gré de participer à cette thèse, ainsi que pour ses efforts fournis, pour ses conseils judicieux prodigués et pour sa patience et sa persévérance dans mon suivi, malgré ses charges intenses.*

Mes profonds remerciements vont aux membres du jury le ***Pr. BOUZARZOUR H****., le* ***Pr. FENNI M. et*** *le* ***Dr. MEBARKIA A.****, qui m'ont fait l'honneur de participer et de juger ma thèse malgré leurs plans de charge.*

Je tiens aussi à remercie le personnel de L'ITGC et en particulier Mr ***MAKHLOUF Mahfoud et Mr LAOUER Salim*** *que je remercie vivement pour leurs conseils précieux et encouragements.*

A ***GUENDOUZ Ali*** *chercheur au niveau de L'INRA de Sétif pour son soutien.*

J'adresse également mes reconnaissances aux enseignant(e) s qui m'ont donné les bases de la recherche scientifique et qui grâce à leurs soutien, ont su me créer les conditions favorables à la poursuite de mes études supérieures.

A titre personnel, je souhaite remercier chaleureusement les membres de ma famille du CNCC représentée par le maître ***HADJ SAHRAOUI Abdelkrim*** *et ses oiseaux :* ***Walid****,* ***Rabie****,* ***Mohamed, Abdelhalim****,* ***Malia*** *et* ***Sara*** *pour m'avoir épaulé, encouragé, et soutenu durant l'élaboration de ce travail.*

Et aux personnes qui m'ont aidé directement ou indirectement

Sincères remerciements

BELAGROUZ Abdenour

DÉDICACES

Je dédie ce travail à:

La mémoire de mes parents, je les remercie de m'avoir donné la vie, reposez en paix mes très chers parents.

A ma grande sœur, une confidente, mon enseignante et ma conseillère ***OUAHIBA****. A toi qui m'as donné tant de marques de bienveillance. A toi ma grande sœur pour ta bonté et tes conseils qui me remontent à chaque fois le moral. Tu étais toujours là pour m'apporter un réconfort et un soutien sans failles. Je garderai toujours un attachement fraternel profond pour toi et je serai toujours reconnaissant pour l'assistance que tu m'as apportée dans ma vie.*

A ses enfants ***Taha Abderrahmen****,* ***Mohamed El Bakir*** *et la petite princesse* ***Insaf***

A mon ange, mon adorable poussin, mon bébé mon fils ***ABDELKAYOUM****.*

A sa maman, Toi qui m'as éclairé mon chemin et qui m'as encouragé, Toi qui as supporté tant de choses pour moi. Tu es ma raison et ma force de réussite, j'espère que tu trouveras dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour.

A mes frères: ***Zineddine****,* ***Abderrezak****,* ***Ammar*** *et, et pour les deux Anges* ***Yahya*** *et* ***Altaf****, vous qui subissez les retombées de nos comportements.*

A mon petit cher frère le futur docteur vétérinaire ***Abdelfatah***

A ma Belle Famille

A tous ceux qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui

BELAGROUZ Abdenour

SOMMAIRE

Liste des abréviations

Lite des tableaux

Liste des figures

Chapitre I- Synthèse bibliographique

1. La biologie du blé 03

1.1. L'origine du blé tendre (*Triticum aestivum)* 03

1.2. L'appareil végétatif 03

1.2.1. Le cycle biologique 03

1.2.2. L'architecture végétale de la plante 05

1.2.3. La croissance et développement de la culture du blé 06

1.2.3.1. La période végétative 06

1.2.3.2. La période reproductive 06

1.2.3.3. La période de maturation 06

1.2.4. L'indice foliaire et la production de la matière sèche 06

2. Situation de la céréaliculture 08

2.2. La situation de la céréaliculture en Algérie 10

3. Les contraintes à la production du blé en milieu méditerranéen 11

3.1. L'eau facteur de production 16

3.2. L'effet du manque d'eau 12

3.3. L'effet des températures 14

3.4. L'effet de la salinité 15

3.4. L'effet des ennemis de la culture 15

4. les modes de labour de sol 16

4.1. le travail conventionnel 16

4.2. L'agriculture de conservation 18

4.3. La réponse de la culture céréalière aux techniques de labour 21

Chapitre II - Matériel et Méthodes

1. Description du site expérimental 22

2. La mise en place et la conduite de la culture 22

2.1. Le matériel végétal utilisé 22

2.2. Le dispositif expérimental 22
2.3. La préparation du sol 23
2.4. La mise en place de la culture 25
3. Le suivi de l'expérimentation et la notation des paramètres 26
3.1. Les paramètres liés au sol 28
3.1.1. La variation de l'humidité du sol 28
3.1.2. L'efficience d'utilisation de l'eau (EUE) par la culture 29
3.1.3. Les quantités d'eau transpirée par la culture et évaporée par le sol 29
3.1.4. La densité apparente du sol 29
3.1.5. La vitesse d'infiltration de l'eau du sol 29
3.1.6. Le taux de matière Organique 30
3.2. Les mesures réalisées sur la culture 31
3.2.1. La teneur relative en eau 31
3.2.2. L'intégrité cellulaire 31
3.2.3. La cinétique de la biomasse aérienne 31
3.2.5. L'analyse des valeurs décadaires des éléments du climat 32
3.2.6. Le rendement en grains et ses composantes 32
4. L'analyse des données 32
Chapitre III - Résultats et discussion
1. Les caractéristiques climatiques au cours de l'expérimentation 34
1.1. Les températures et les précipitations 34
1.2. La demande climatique 35
2. Les paramètres liés au sol 38
2.1. Les caractéristiques physiques 38
2.1.1. La texture 38
2.1.2. La densité apparente 38
2.1.3. La conductivité hydraulique 40
2.2. Les caractéristiques chimiques 43
2.2.1. La matière organique 43
2.2. Le calcaire total et les bases échangeables 45
3. La variation de l'eau disponible au cours du cycle de la culture 46
4. Les mesures réalisées sur la variété au cours du cycle de développement 51
4.1. La durée des phases (JAS) de développement de la culture du blé 51
4.2. Le statut hydrique de la plante 52

4.2.1. L'intégrité cellulaire 52
4.2.2. La teneur relative en eau 53
4.2.3. L'indice foliaire 55
5. La matière sèche accumulée au cours du cycle de la culture 56
5.1. La cinétique de la matière sèche produite par la culture 56
5.2. La matières sèche accumulée par les plantes adventices 58
6. Le rendement et ses composantes sous l'effet des modes contrastés de labour du sol 59
7. L'eau utilisée au cours du cycle (EUC) et l'efficience d'utilisation de l'eau (EUE) 61
7.1. Les paramètres régissant le bilan hydrique du continuum sol plante-atmosphère 61
7.2. L'efficience d'utilisation de l'eau 64
8. Les relations entre les variables 65
Conclusion Générale 69
Références bibliographiques
Résumés

Liste des abréviations

%	pour cent
BIO	Biomasse aérienne
CGR	Taux de croissance de la culture (Crop Growth Rate)
cm	Centimètre
CNCC	Centre national de contrôle et de certification de semences et plants
cm²	centimètre carré
cm^3	centimètre cube
cmh^{-1}	centimètre par heure
da	Densité apparente du sol
ddl	Degré de liberté
DSA	Direction des Services Agricoles
EC	Conductivité Electrique
ED	Eau disponible
EUE	Efficience d'utilisation de l'eau
FAO	Food and Agricultural Organization
gm^{-2}	gramme par mètre carré
g/mmH2O	gramme par millimètre d'eau
gcm^{-3}	gramme par centimètre cube
H %	humidité pondérale
ha	hectare
HI	Indice de récolte (Harvested Index)
HPF	Humidité du sol au point de flétrissement
HR	Humidité Résiduelle à la récolte
HS	Humidité Résiduelle au semis
HSI	Statut Thermique Foliaire

HT	Hauteur
IC	Intégrité Cellulaire
IF	Indice foliaire
ITGC	Institut Technique de Grandes Cultures
JAS	Jours Après Semis
K	perméabilité
Kg ha^{-1}	kilogramme par hectare
LAI	Leaf Area Index
m	mètre
MADR	Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural
MF	Matière Fraiche
mg	milligramme
mg l^{-}	milligramme par litre
MH	Masse Humide
ml	millilitre
mm	millimètre
mmkPa^{-1}	millimètre par kilos Pascal
MS	Masse Sèche
NE	Nombre d'épis par m²
NGE	Nombre de grains par épi
ºC	Degré Celsius
ONM	Office National de la Météorologie
PF	Poids Frais
PLL	Paille
PMG	Poids de 1000 grains
PPDS 5%	la plus petite différence significative au seuil de 5%
PS	Poids Sec

PT	Pois Turgide
q	quintaux
q/ha	quintaux par hectare
R^2	Coefficient de régression
RDTBIO	Rendement biologique
RDTpll	Rendement en paille
RDTgrain	Rendement en grains
SAU	Surface agricole utile
TC	Travail Conventionnel
TM	Travail minimum
SD	Semis Direct
SEA	Station Expérimentale Agricole
TRE	Statut hydrique foliaire

Liste des tableaux

Tableau 1. Les dix grands premiers producteurs du blé dans le monde (10^6 tonnes/an) (FAO, 2012) 9

Tableau 2. Valeurs de l'évapotranspiration de référence (ET0, mmj^{-1}), estimée par CROPWAT 36

Tableau 3. Les besoins en eau de la culture du blé au cours de l'expérimentation 37

Tableau 4. Caractérisation physico-chimique du sol sur 30 cm de profondeur 38

Tableau 5. Carré moyen des écarts de l'analyse de la variance de la densité apparente (da) du sol soumis au labour classique et de conservation 39

Tableau 6. Carré moyen des écarts de l'analyse de la variance de la perméabilité (k) du sol soumis au labour classique et de conservation 41

Tableau 7. Carré moyen des écarts de l'analyse de la variance de la variation du taux de matière organique sur les 30 cm du sol soumis au labour classique et de conservation 43

Tableau 8. Caractérisation chimique du sol sur 30 cm de profondeur 46

Tableau 9. Carré moyen des écarts de l'analyse de la variance de la variation de l'eau disponible pour la plante sur 40 cm du sol soumis au labour classique et de conservation 47

Tableau 10. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance de l'intégrité cellulaire (IC%) de la culture de blé tendre conduite en labour classique et de conservation 52

Tableau 11. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance de la teneur relative en eau (TRE) d'ELWIFAK conduite en labour classique et de conservation 54

Tableau 12. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance de l'indice foliaire D'ELWIFAK conduite en labour classique et de conservation 55

Tableau 13. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance de la matière accumulée au cours du cycle de la culture blé tendre conduite sur sol en labour traditionnel et de conservation 57

Tableau 14. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance de la matière sèche accumulée par les mauvaises herbes (msh, gm^{-2}) dans le cas du blé tendre cultivé sur sol en labour classique et de conservation 58

Tableau 15. Carré moyen de l'analyse de la variance du rendement en grain et de ses composantes, de la variété de blé tendre EL WIFAK conduite sous trois modes de labour du sol, le conventionnel (TC), travail minimum(TM) et en semis direct (SD) 60

Tableau 16. Carré moyen de l'analyse de la variance des quantités d'eau utilisée, transpirée et de l'efficience effective pour le rendement et la biomasse aérienne chez le blé cultivé sous modes contrastés du labour du sol 62

Tableau 17. Valeurs moyennes des composantes hydriques du continuum sol plante-atmosphère 64

Tableau 18. Coefficient de corrélation entre les composantes du continuum sol plante atmosphère 66

Liste des figures

Figure 1. Représentation schématique de l'évolution historique des espèces du blé (*Triticum* and *Aegilops*) (Chantret et *al*., 2005) 4

Figure 2. Le cycle de développement du blé (Zadoks et *al*., 1974) 4

Figure 3. Culture de céréale au Stade de tallage (Boyeldieu ,1999) 5

Figure 4. Relation entre photosynthèse, respiration et indice foliaire chez la culture de blé (Evans, 1978) 7

Figure 5. Périodes de repérage des composantes du rendement et les contraintes à l'élaboration 8

Figure 6. Evolution de la production mondiale des principales céréales (FAO, 2012) 9

Figure 7. Evolution de la production des céréales en Algérie (MADR, 2009) 10

Figure 8. Plan de l'essai 23

Figure 9. Le travail profond effectué à la charrue bisocs réversible 24

Figure 10. Le travail minimum effectué par un cover-crop 24

Figure 11. Semis direct au semoir Semeato-Personale Drill 17 cm 25

Figure 12. Parcelle en labour conventionnel (TC) 27

Figure 13. Parcelle en labour minimum(TM 27

Figure 14. Parcelle en semis direct (SD) 27

Figure 15. Le mini-infiltromètre à disques (Decagon, 2005) 30

Figure 16. Récolte à la moissonneuse batteuse expérimentale 33

Figure 17. Variations décadaires de la température maximale, minimale et moyenne et précipitations enregistrées 35

Figure 18. Variation décadaire de la demande en eau (ETC, mm) de la culture de blé 37

Figure 19. Le poids spécifique du sol (da, gcm^{-3}) sous labour conventionnel (TC), minimum (TM) et en semis direct (SD) 39

Figure 20. La conductivité hydraulique du sol (k, cmh^{-1}) sous labour conventionnel (TC), minimum (TM) et en semis direct 41

Figure 21. La cinétique du flux d'infiltration de l'eau en fonction du temps 42

Figure 22. Variation de la teneur en matière organique sur 0-10 cm à 30 cm sur sol soumis au labour conventionnel et de conservation 44

Figure 23. Variation de l'eau disponible (ED, mm) selon les stades végétatifs du blé conduit sur sol en labour conventionnel et de conservation 48

Figure 24. Variation moyenne de l'eau disponible pour le blé en fonction des modes de labour du sol 48

Figure 25. Variation moyenne de l'eau disponible (ED, mm) en fonction de la profondeur du sol 49

Figure 26. Variation moyenne de l'eau disponible (ED, mm) sur les profondeurs de 0-20 et 20-40 cm du sol soumis au labour conventionnel et de conservation 49

Figure 27. Variation moyenne de l'eau disponible (ED, mm) au stade végétatif de la plante en fonction du système de labour du sol sur sol en labours contrastés 50

Figure 28. Variation moyenne de l'eau disponible (ED, mm) liée à la profondeur en fonction sous modes contrastés de labour du sol 50

Figure 29. Variation moyenne de l'eau disponible (ED, mm) au stade de prélèvement et sur la profondeur soumise aux modes de labour du sol 51

Figure 30. Durée (JAS) des phases végétatives chez la variété EL WIFAK conduite sur sol en labour traditionnel et de conservation 52

Figure 31. L'intégrité cellulaire (IC, %) chez le blé tendre sous labours classique et de conservation 53

Figure 32. La teneur relative en eau (TRE, %) chez le blé tendre sous modes de labours classique et de conservation selon les stades végétatifs 54

Figure 33. L'indice foliaire (IF) chez le blé tendre sous modes de labours classique et de conservation et en fonction du nombre de JAS 56

Figure 34. Matière sèche accumulée au cours du cycle de la culture blé tendre 57

Figure 35. Matière sèche accumulée au cours du cycle de la variété de blé tendre conduite sur sol en labour traditionnel et de conservation 57

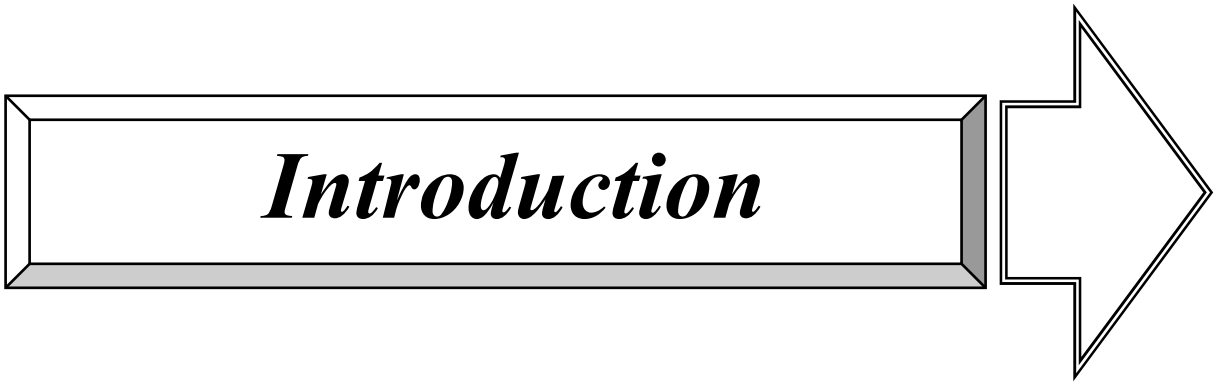
Figure 36. Matière sèche des mauvaises herbes (msh, gm^{-2}) accumulée au cours du cycle de la variété en fonction du mode de conduite 58

Figure 37. Gains relatifs (%) réalisés sur les caractères mesurés de la variété de blé tendre ELWIFAK conduite sur sol en système conventionnel relativement à la moyenne obtenue en système de conservation 61

Figure 38. Variation de l'évaportaion de l'eau du sol (Es, mm) et d u rapport [ET/DPV]($mmkPa^{-1}$) en condition de labours classique et de conservation 64

Figure 39. Expression de la biomasse aérienne (Bio, qha^{-1}) produite par la variété EL WIFAK en fonction de T/VDP ($mmkPa^{-1}$) 67

Introduction



Introduction

En conditions pluviales, la production des céréales reste limitée par les facteurs du climat, les caractéristiques du sol, le matériel végétal et les pratiques culturales (Stewart, 1989; Lopez-Bellido et *al*., 2000; Chennafi, 2012a). En Algérie, le rendement des céréales stagne depuis plus d'un demi-siècle, résultat lié aux données du problème auquel la céréaliculture algérienne fait face et qui n'ont pas fondamentalement changé (Djenane et *al.*, 1993). En effet, le rendement moyen du blé sur 50 ans est de $8.6qha^{-1}$ (FAOSTAT, 2013), néanmoins, l'observation des valeurs du rendement obtenu semblent s'améliorer. La période de 1961 à 1991 a été caractérisée par une moyenne de $6,4qha^{-1}$. Par contre, le gain moyen relatif réalisé sur les 20 dernières années est estimée à 85.2% comparativement à la première période. Toutefois, la productivité des cultures en pluviale reste encore réduite. Ce sont les conséquences des effets des facteurs naturels qui modulent la production agricole auxquelles s'ajoute l'action anthropique. En Algérie, la situation examinée par Bouzerzour et *al.,* (2006) illustre une baisse de rendements des céréales par la conception de la pratique des techniques conventionnelles de production appliquées à la céréaliculture. Ces modes de labour du sol engendrent des phénomènes d'érosions hydrique et éolienne, la destruction de la matière organique et la détérioration de la structure des sols (Bouzerzour et *al.,* 2006).

L'agriculture intensive souvent en monoculture a été à l'origine de la dégradation progressive des sols (Gréco, 1978; Roose, 2006). La mauvaise gestion du sol par l'homme accélère le défrichement des terres, compacte le sol par le surpâturage, dénude et déstructure la surface du sol cultivé (Roose, 2006). L'intensification des cultures à travers le système conventionnel à coûts d'intrants élevés, le maintien de la jachère a amélioré temporairement les rendements, cependant à long terme ce système cultural a eu des retentissements de réduction de la couverture végétale du sol et une diminution progressive de la productivité (Mrabet, 2001). Les niveaux de perturbations sous les effets du travail intensif du sol sont tragiques et aboutissent parfois à des situations irréversibles de baisse de fertilité du sol.

Toutefois, la relance du débat sur les effets néfastes de la dégradation du sol a abouti à des solutions intermédiaires. Système dynamique, le sol est un patrimoine naturel, son utilisation doit être perçue à travers une optique conservatrice de limitation de toutes les formes de dégradation. Lopez-Bellido et *al*., (2000) soulignent que la région méditerranéenne du Nord d'Afrique se distingue par la particularité des systèmes agricoles du fait de leur spécificité extrême non seulement vis-à-vis du climat et du sol, mais aussi à l'égard historique, et socio-économique. En effet, ils sont la conséquence d'être des écosystèmes fragiles, les sols des

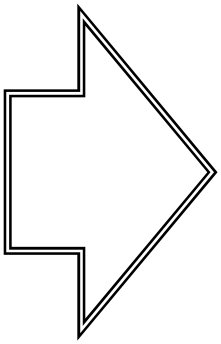
climats arides et semi-arides (UNEP, 2011). En revanche, leur exploitation mérite une attention particulière pour le maintien et l'amélioration de leur fertilité. La pratique des techniques antiérosives dans le monde a évolué par l'introduction du concept du semis direct et du labour minimum du sol, et le maintien des résidus sur le sol. Ils améliorent la capacité de stockage en eau et en élément nutritifs du sol au profit de la plante dans un contexte de développement durable (Carr, 2003; Merabet, 2010, Hannachi et Fellahi, 2010; Chennafi et *al.*, 2011).

La simplification des opérations de travail du sol, la non perturbation du sol est considérée une technologie stratégique d'avenir, de réduction des charges économiqued de mécanisation, de main-d'œuvre, d'énergie et de produits fertilisants. Pour Labreuche et *al*., (2007) les techniques simplifiées du labour du sol sont définies par le travail de conservation du sol, ou agriculture de conservation, conditionnées par une part de 30 % des résidus de la culture précédente laissée en surface du sol. En revanche, les espèces performantes qui produisent plus de biomasse en quantité et en qualité sont introduites dans les systèmes de protection de l'espace (Gény et *al.*, 1992).

Gregory et *al.*, (2000) se penchent sur la valorisation de l'eau pluviale et de l'efficience d'utilisation de l'eau par les cultures en milieu déficitaire en eau par des pratiques culturales qui minimisent l'évaporation de l'eau du sol. En effet, chez la céréale, le rendement et ses composantes sont affectés différemment sous l'effet de la contrainte hydrique selon son avènement et son intensité (Giunta et *al*., 1992; Chennafi et *al*., 2006). Toutefois, lorsque l'eau est limitée, la gestion des cultures influence fortement le rendement, et l'amélioration de la production par unité d'eau utilisée est impérative en milieu où l'eau est rare (Ritchie et Basso, 2007; Reynolds et *al*., 2011). Stewart (1989) considère que l'agriculture pluviale n'a pas reçu une attention adéquate. Il estime que l'efficience d'utilisation de l'eau requiert une bonne réponse de relation entre la transpiration, l'évapotranspiration et l'eau utilisée, et la biomasse et le rendement en grain réalisés (Stewart, 1989). Sous cette vision est fondé l'objectif de la réponse de la culture de blé tendre conduite sur sol en labours contrastés en environnement des Hautes Plaines Sétifiennes.

Chapitre I

Synthèse bibliographique



Chapitre I. Synthèse bibliographique

1. La biologie du blé

1.1. L'origine du blé tendre (*Triticum aestivum)*

Le blé est une monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des *Gramineae.* C'est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhiscent, appelé caryopse, constitué d'une graine et de téguments (Feuillet, 2000). Le genre *Triticum* appartient à la tribu des *Triticées* au sein de la famille des *Poacées* et plus largement au groupe des angiospermes monocotylédones (Bolot et *al*., 2009).

L'aire d'origine des blés est le proche Orient, dans la zone dite du Croissant fertile, l'Irak, la Syrie et la Turquie (Baldy, 1986). La diffusion du blé vers l'Europe, l'Asie et l'Afrique du Nord est très ancienne. Le blé tendre (*Triticum aestivum*) est apparu il y'a 7000 à 9500 ans, probablement par la domestication des blés (Nesbitt et Samuel, 1995). Les botanistes classe le blé tendre dans le groupe des blés hexaploïdes (2n= 42) (Bonjean, 2001). Le blé hexaploïde *Triticum aestivum* à génome (BBAADD) est très vraisemblablement apparu seulement après la domestication des blés diploïdes et tétraploïdes (Chantret et *al*., 2005) (Figure 1).

1.2. L'appareil végétatif

1.2.1. Le cycle biologique

Boyeldieu (1999) rappelle que le cycle végétatif du blé s'accomplit en trois 3 grandes périodes (figure I.2). La première période végétative (ou des feuilles) débute de la germination à la fin du tallage. La période reproductrice (ou des tiges) s'étend du redressement à la fécondation. Elle apparaît au cours du tallage et regroupe la formation de l'ébauche de l'épi, l'initiation florale (montaison-gonflement) et la méiose-fécondation (Soltner, 2005). La troisième période de formation et de maturation des *grains* est repérée de la fécondation à la maturation complète du grain.

Différents échelles ont été établies pour identifier les stades végétatifs clés du cycle de développement de la culture du blé. Selon Soltner (2005) les échelles de notation qui ont été relevées sont celles de Jonard (1952), Feeks (1954) et de Zadocks (1974) (figure 2).

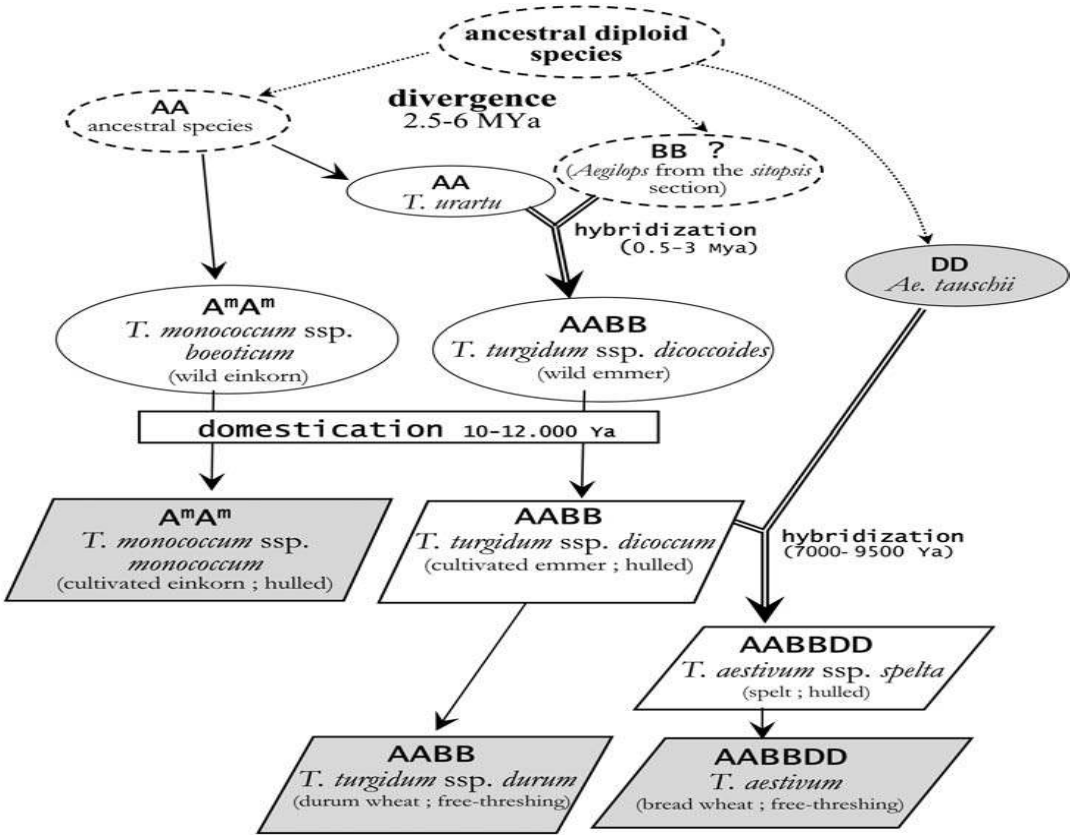


Figure 1. Représentation schématique de l'évolution historique des espèces du blé (*Triticum* and *Aegilops*) (Chantret et *al*., 2005)

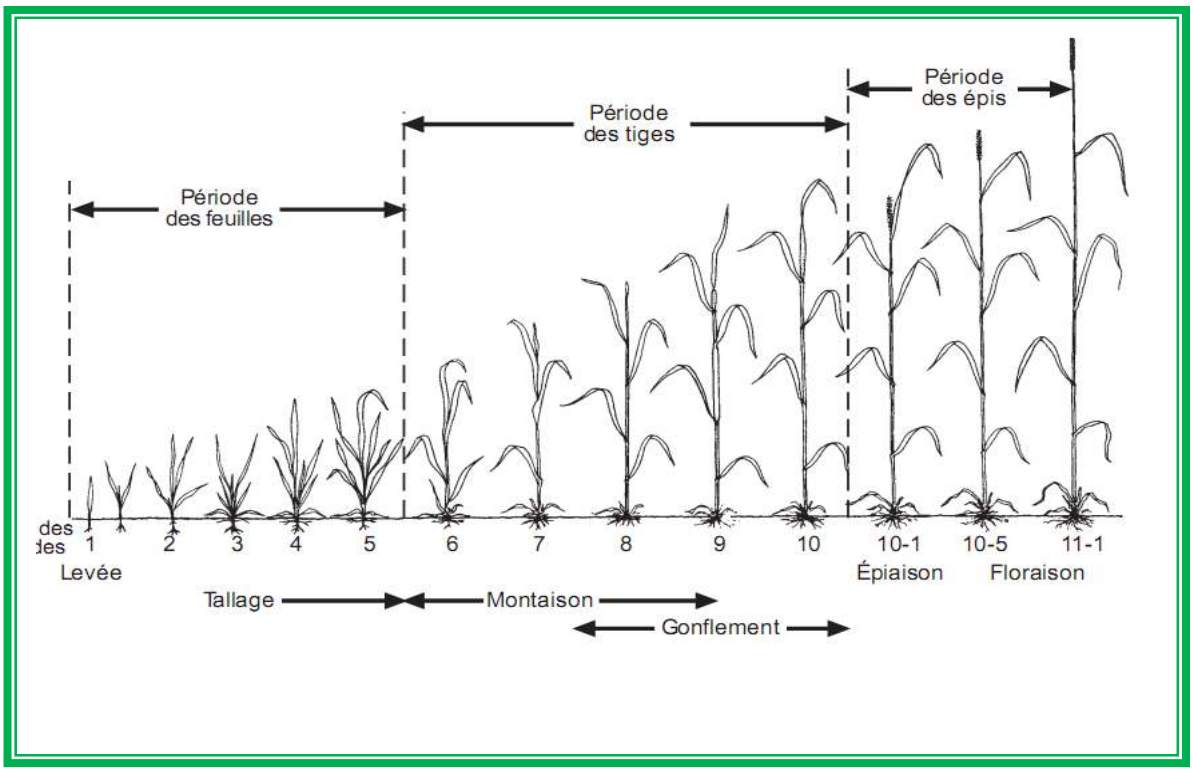


Figure 2. Le cycle de développement du blé (Zadoks et *al (modifié)*., 1974)

1.2.2. L'architecture végétale de la plante

L'appareil végétatif est constitué de talles émises depuis le plateau de tallage situé à la base de la plante (figure 3). Ces talles se développent à partir du bourgeon principal (talle principale) et des bourgeons axillaires (talles secondaires). Chaque talle se compose de différents phytomères formés de tige, gaine, limbe foliaire, un bourgeon axillaire qui porte à son sommet un épi formé de deux rangées d'épillets situés de part et d'autre du rachis (Boyeldieu, 1999).

L'épillet regroupe trois à quatre fleurs à l'intérieur de deux glumes. Chaque fleur est dépourvue de pétales, entourée de deux glumelles. Elle contient trois étamines et un ovaire surmonté de deux styles plumeux. La fleur du blé est dite cléïstogame, c'est-à-dire que, le plus souvent, le pollen est relâché avant que les étamines ne sortent de la fleur. Du fait du caractère cléïstogame de la fleur, l'autofécondation est le mode de reproduction le plus fréquent (autogamie). Les glumes et les glumelles sont éliminées au moment du battage pour libérer le grain. Le grain, ou caryopse, est à la fois le fruit et la graine du fait que les enveloppes du fruit sont soudées à celle de la graine. Ses réserves sont contenues dans l'albumen composé de 65% d'amidon, 15% de protéines, de 15% d'eau et de divers micro éléments comme le Fe, Zn, les acides gras et les vitamines (Bogard, 2011). La qualité de la pâte de la farine est liée à la structure et à la composition de l'amidon.

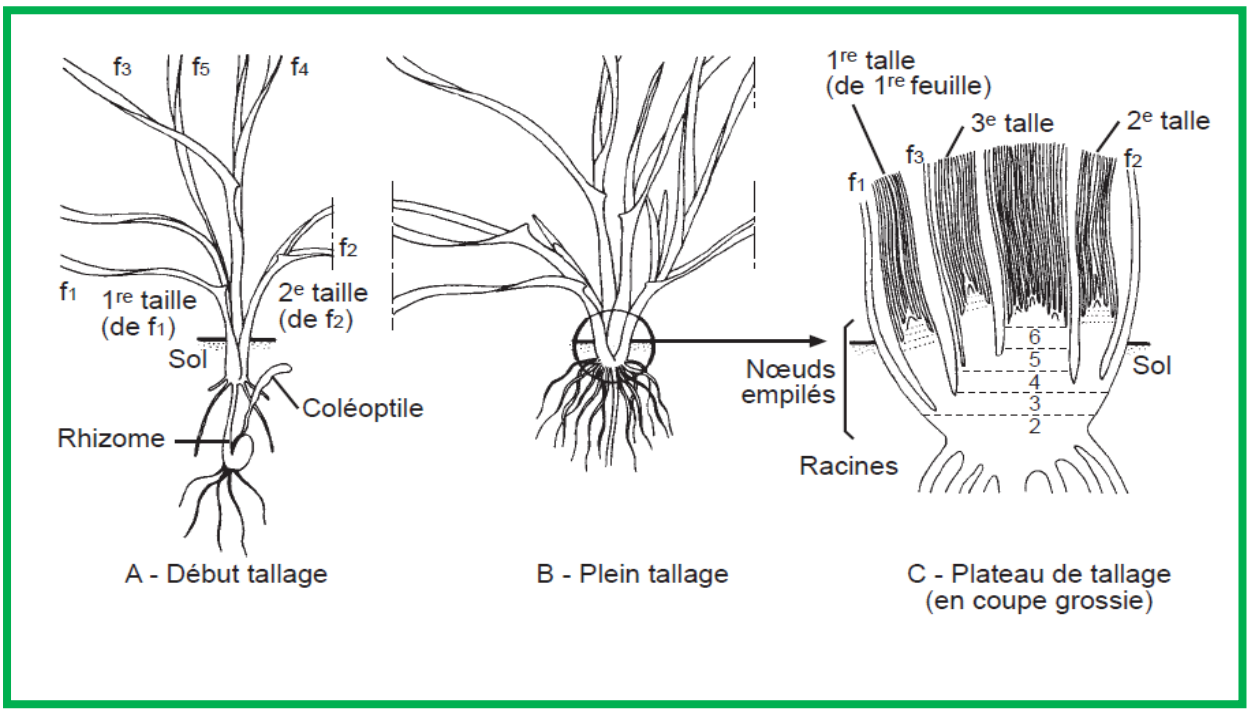


Figure 3. Culture de céréale au Stade de tallage (Boyeldieu ,1999)

1.2.3. La croissance et développement de la culture du blé

Le blé possède un cycle biologique annuel réparti en périodes végétative et reproductrice (Soltner, 2005). Pour Gautier (1991) la maturation constitue une troisième période.

1.2.3.1. La période végétative

Elle débute par la germination qui correspond à une activation métabolique de l'embryon décelable par les échanges respiratoires de la graine. C'est un processus préparatoire à l'élongation de la radicule et du coléoptile (Boyeldieu, 1999). La levée est définie par l'apparition de la première feuille qui traverse la coléoptile. Le stade début tallage est repéré dès que la plante possède trois à quatre feuilles et une tige sur le maitre brin à l'aisselle de la feuille la plus âgée (Gate, 1995).

1.2.3.2. La période reproductive

La période reproductrice se caractérise par la formation et la croissance de l'épi. Elle s'étend du stade épi-1cm, montaison, au stade de la floraison**.** La montaison débute à la fin du tallage. Elle se distingue par l'allongement des entre-nœuds et la différenciation des pièces florales (Grandcourt et prats, 1971).

Le stade de l'épiaison –floraison se réalise au stade méiose pollinique, la gaine de la dernière feuille s'écarte progressivement suite à l'allongement des derniers entre-nœuds de la tige, la gaine s'éclate et le sommet de l'épi sort de la dernière gaine (Gate, 1995).

1.2.3.3. La période de maturation

A ce stade, l'élongation du dernier entre-nœud assure l'élévation de l'épi au dessus de la dernière feuille. Le stade gonflement du grain est marqué par une photosynthèse intense pour l'élaboration des substances de réserve, l'amidon qui migre vers l'albumen du grain qui grossit tandis que l'embryon se forme. Cette migration nécessite une circulation d'eau, il peut y avoir échaudage en cas de stress hydrique (Moule, 1998). Le grain subit trois stades, du grain laiteux au pâteux au grain dur. Entre les stades laiteux et pâteux, la quantité d'eau contenue dans le grain est stable, c'est le palier hydrique (Robert et *al.,* 1993).

1.2.4. L'indice foliaire et la production de la matière sèche

Par définition, l'indice foliaire *(leaf area index)* qui mesure la taille de l'appareil assimilateur représente le rapport entre la surface foliaire totale d'un couvert (L) et la surface de sol correspondante (A): $LAI = L \times A^{-1}$ (El Hassani, 1995.). La quantité d'énergie lumineuse

interceptée est liée à la grandeur de ce rapport (Evans, 1978.). Boyeldieu (1999) considère que dans le cas des céréales, un indice foliaire de valeur de 4 indique que le feuillage intercepte 95% d'énergie lumineuse. Cependant, si l'indice continue à croître, le gain en énergie se réduit pour devenir négligeable d'où résultent des risques de verse, de parasites et qui sont à l'origine du microclimat humide à la base du couvert. Les feuilles inférieures dépérissent lorsque l'intensité lumineuse est devenue trop faible pour couvrir les pertes de CO2 par respiration, tombant ainsi en dessous du point de compensation (figure 4).

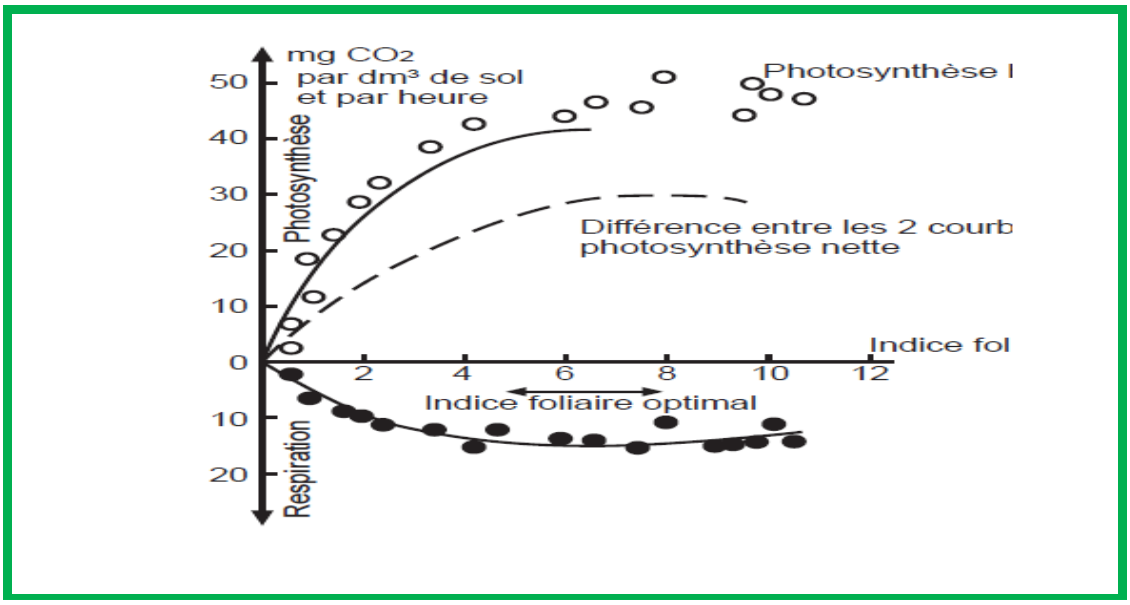


Figure 4. Relation entre photosynthèse, respiration et indice foliaire chez la culture de blé (Evans et *al*, 1978)

L'élaboration du rendement implique l'enchaînement de multiples mécanismes liés à la croissance et au développement du peuplement cultivé à travers la morphogénèse et le fonctionnement des organes, en relation avec les facteurs et conditions du milieu (Combe et Picard, 1994). Mekhlouf et Bouzerzour (2000) considèrent que le rendement est un caractère complexe, résultant des caractères impliqués directement et indirectement dans sa formation, tel que le poids du grain, le nombre de grains par épi, le nombre d'épis par unité de surface et la biomasse aérienne (figure 5).

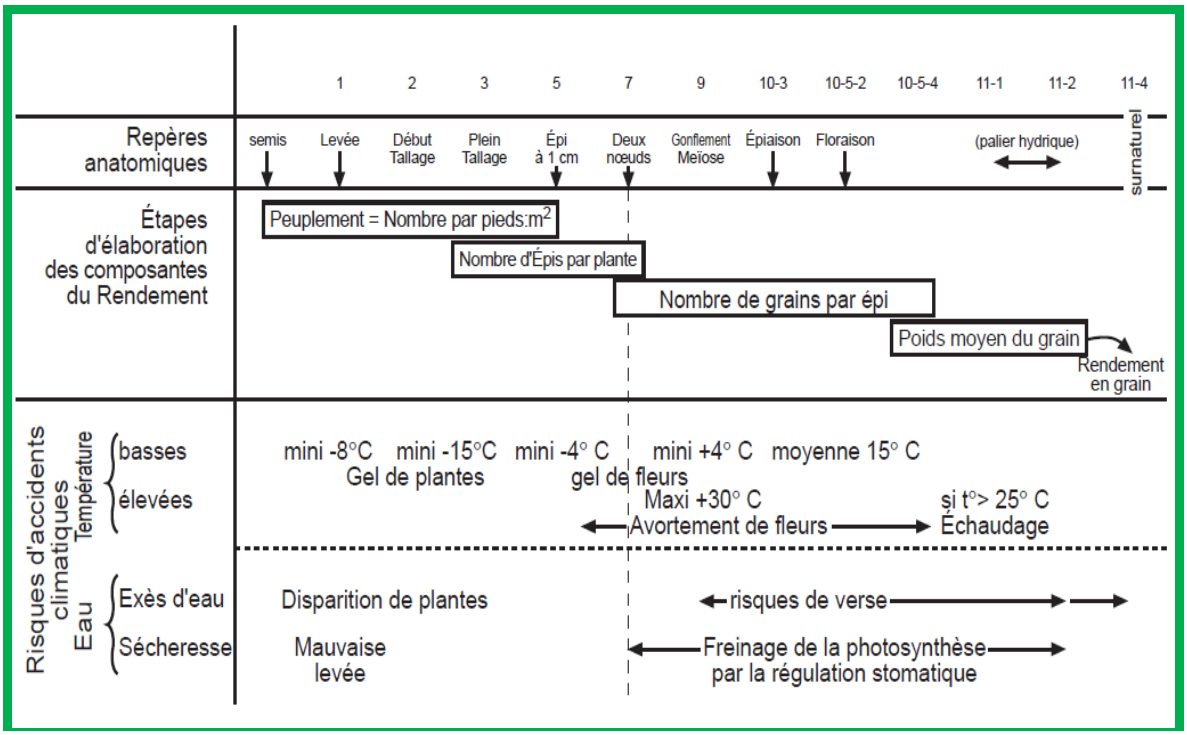


Figure 5. Périodes de repérage des composantes du rendement et les contraintes à Son élaboration

2. Situation de la céréaliculture

La culture des céréales représente un secteur économique important. En effet, c'est un aliment de base d'une très grande partie de la population mondiale. Les pays importateurs et exportateurs de céréales dépendent les uns des autres et ont intérêt à garantir l'approvisionnement de cette denrée alimentaire et à maintenir des prix stables au niveau mondial. Ils collaborent avec les organisations internationales, en particulier le Conseil International des Céréales (CIC), dont le siège est à Londres (kellou, 2005). La situation de la céréaliculture est liée à l'évolution des superficies, des productions et par conséquent des rendements des céréales obtenus. Le classement de l'année 2012 des dix premiers producteurs indique que la Chine vient en première position. Par contre les Etats unis se situent en troisième position (tableau1). Sept pays assurent les 3/4 des exportations mondiales et ce sont dans l'ordre les Etats-Unis (20%), l'Australie (12.1%), la France (11.3%), le Canada (10.1%), l'Argentine, la Russie et l'Ukraine (FAO, 2012).

La production mondiale des trois principales céréales a connu une fluctuation de production. L'année la plus prédictive est 2008/2009 avec une production totale de 863.77

Millions de Tonnes répartie en 683,19 MT de blé (79,09%), 51.55 d'Orge (17,91%) et d'avoine (2.99%) (figure 6).

Tableau 1. Les dix grands premiers producteurs de blé dans le monde (10^6 Tonnes/an) (FAO, 2012)

Rang	Pays	Production (10^6 t)
1	Chine	115,18
2	Inde	80,80
3	Etats Unis d'Amérique	60,10
4	Russian Federation	41,51
5	France	40,79
6	Allemagne	24,11
7	Pakistan	23,31
8	Canada	23,16
9	Australie	22,13
10	Turkie	19,66

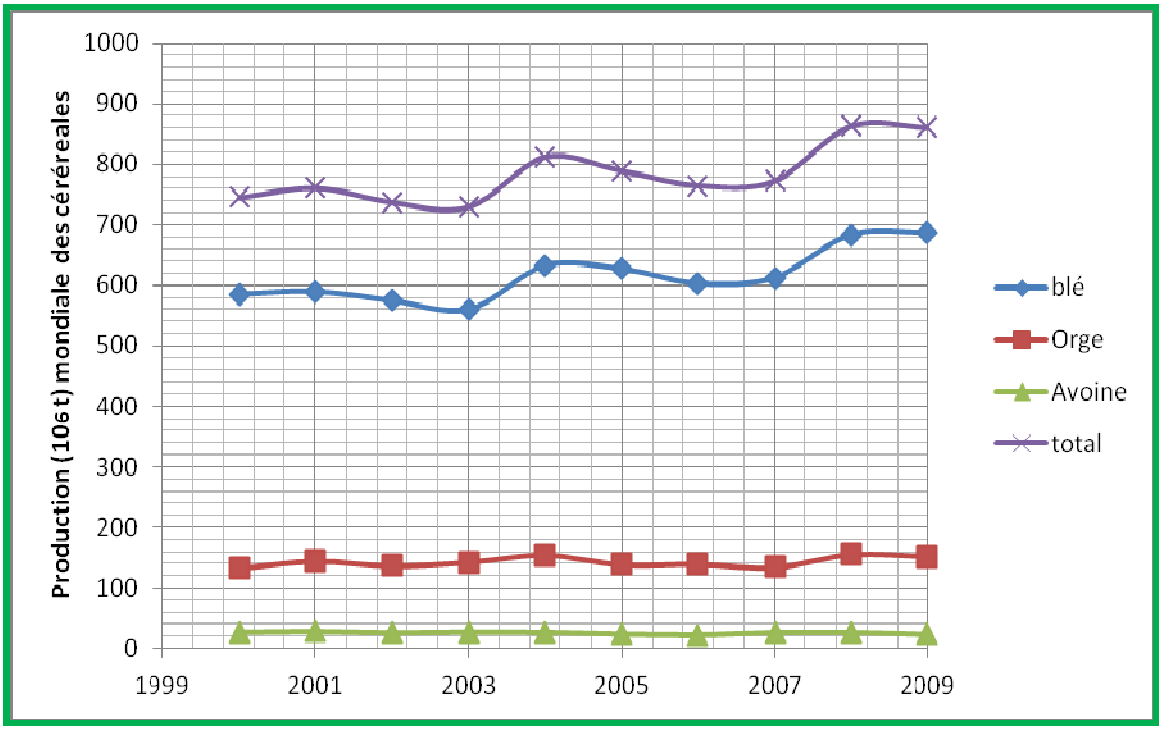


Figure 6. Evolution de la production mondiale des principales céréales (FAO, 2012)

2.2. La situation de la céréaliculture en Algérie

La superficie totale de l'Algérie est de 238 millions d'hectares dont 191 millions sont occupés par le Sahara. La superficie agricole représente 3% de ce total, la surface agricole utile (SAU) est de 7,14 millions d'hectares, dont près de la moitié est laissée en jachère chaque campagne agricole. Les cultures herbacées couvrent 3,8 millions d'hectares. La céréaliculture constitue la principale activité, notamment dans les zones arides et semi-arides. Les terres annuellement emblavées représentent 3,6 millions d'hectares, soit 50% des terres labourées (MADR, 2007). Les grandes cultures, notamment les céréales, les légumineuses alimentaires, les fourrages et les oléagineux sont des produits alimentaires de première nécessité dans l'agriculture algérienne elles constituent la consommation de base qui est estimée à environ 228 kg par habitant et par an pour les céréales (Ait Abdallah-Djennadi et *al.,* 2010) comparativement à l'Egypte dont la moyenne est de 131 kg/hab/an et à la France dont la moyenne est de 98 kg/hab/an (FAO, 2007). La production totale des céréales est très variable d'une année à une autre sous l'effet des facteurs du climat, en particulier le manque d'eau (figure 7). La production totale des céréales est loin de couvrir la demande qui est de plus en plus importante elle est d'ordre de 6.5 MT (Badrani, 2004).

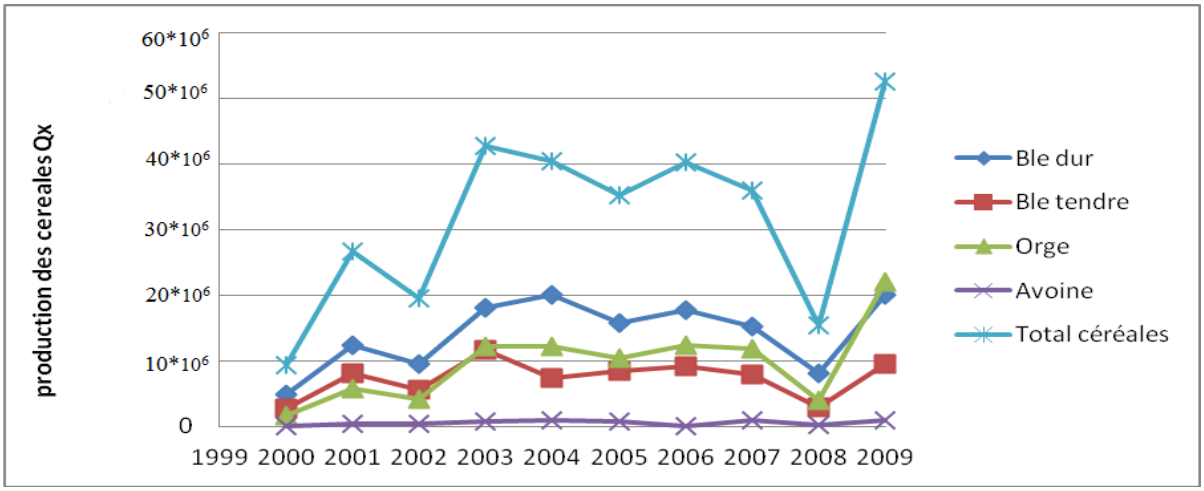


Figure 7. Evolution de la production des céréales en Algérie (MADR, 2009)

3. Les Contraintes à la production du blé en milieu méditerranéen

3.1. L'eau facteur de production

La disponibilité en eau est un des facteurs le plus déterminant de la croissance et de la productivité des plantes. En effet, l'eau représente la principale composante des plantes, la teneur moyenne en eau chez les végétaux est évaluée entre 60 à 95% de leur poids en matière fraîche totale (Mayer et *al*., 2004; Catell, 2006). Les plantes requièrent de l'eau en quantité, ainsi qu'en qualité à portée de leurs racines et au bon moment. Cependant, la plus grande partie de l'eau absorbée par la plante transporte les nutriments dissous du sol jusqu'aux organes aériens des plantes où elle est libérée dans l'atmosphère par transpiration (FAO, 2004).

La culture du blé recommande des quantités importantes en eau pour son développement et pour sa croissance pour assurer un rendement optimale. Les besoins en eau des cultures sont fonction des espèces et des variétés cultivées et, des conditions liées aux sols et au climat. Ollier et Poirée (1981) définissent la consommation relative en eau par la quantité d'eau nécessaire pour réaliser 1 kg de matière sèche. Dans le cas du blé la quantité d'eau de végétation utilisée au cours de son cycle végétatif pour former 1 kg de matière sèche est de 1000 kg (FAO, 2004) et de 590 kg (CNRSF, 2010). A travers la littérature, la valeur de la consommation relative en eau est variable selon les auteurs. Cette disparité est la répercussion des conditions des champs d'expérimentation sur ce paramètre. Ollier et Poirée (1981) notent une valeur de 1050 kg d'eau dans le cas du blé. Sur les Hautes Plaines Sétifiennes, ce paramètre est de 639 kg (Chennafi et *al*., 2008a)**.**.

Toutefois, la répartition des besoins en eau reste fonction du stade végétatif, du matériel végétal utilisé et des caractéristiques liées au sol et au climat. Cependant, nombreux auteurs relèvent la distinction de la grandeur des valeurs en eau en fonction du stade végétatif. En effet la période du stade de la montaison à celle du remplissage du grain est la plus exigeante en eau (Zhang et Oweis, 1999; Chennafi et *al*., 2008b). Ce stade coïncide avec l'avènement du déficit hydrique lié au déficit d'évaporation en eau de l'air (Chennafi, 2012a). Cette situation nécessite une utilisation réfléchie quant à l'utilisation de l'eau en agriculture. En effet, dans le contexte agropédoclimatique des Hautes Plaines Sétifiennes, la rareté de l'eau à des stades de la plante exigeants en eau recommande une attention toutes particulière de la gestion de l'eau (Chennafi, 2012a). Sous cette approche, Pereira et *al*., (1998) illustrent

l'importance de l'estimation des besoins en eau des cultures, considérés comme base des projets de mise en valeur en irrigué, de la programmation des apports d'eau et de la gestion de la ressource en eau.

La demande en eau des cultures est définie par Doorenbos et Pruit (1976) par la hauteur d'eau exprimée en mm nécessaire pour couvrir les quantités d'eau perdues sous forme d'évapotranspiration d'une culture en bon état sanitaire, cultivée dans des conditions non limitantes en eau et en éléments nutritifs. Clément et Galant (1979) portent attention sur la définition des besoins en eau maximum (ETM, mm) de la culture en déterminant leur grandeur par le produit du coefficient cultural (kc), spécifique de chaque culture et du stade végétatif, et de l'évapotranspiration potentielle de référence (ET_0, mm), exprimé par l'évapotranspiration potentielle de la culture (ETC) par $ETc= kc \times ET_0$ (Allen et *al*., 1998). Le potentiel productif des cultures relève de la quantité d'eau utilisé au cours du cycle. Cependant, c'est la consommation à un stade végétatif donné valorisant l'eau qui est beaucoup plus efficiente (Chennafi et *al*., 2006). La culture du blé requiert au cours de son cycle végétatif des besoins en eau variant de 450 mm (Baldy, 1974) à 702 mm (Ollier et Poirée, 1981). Sur les hautes plaines Sétifienne, la culture du blé recommande 672 mm au cours de son cycle de développement (Chennafi et *al*., 2008b). Liu et Luo (2011) rapportent des valeurs pour le blé tendre de 436.0 mm et 590 mm.

3.2. L'effet du manque d'eau

Les plantes cultivées vivent en conditions de confort hydrique lorsque le sol est proche de la capacité de rétention (Chennafi et *al*., 2006). Le flux de transpiration selon Katerdji (1989) peut atteindre une à deux fois et parfois plus, le stock d'eau présent dans un végétal développé. La transpiration foliaire représente la force motrice de la circulation de l'eau du sol à travers les plantes jusqu'à l'atmosphère du fait d'une chute continue de potentiels le long du trajet et d'une continuité hydraulique entre le sol et les feuilles où s'effectue l'évaporation de l'eau (Katerji, 1989). Cependant, dès que le niveau d'humidité du sol tend vers une valeur inférieure à la capacité au champ, le déficit hydrique s'installe et la plante est stressée (Turk, 1978). L'évolution du stress hydrique conditionne le fonctionnement du statut hydrique de la plante et passe progressivement par trois principales phases (Blum, 1996). Au cours de la première phase, la plante dispose de l'eau, la transpiration et l'assimilation Chlorophylliennes se déroulent normalement. Dès que la réserve utile du sol est épuisée à 50%, le niveau hydrique d'absorption racinaire baisse et la demande climatique n'est plus satisfaite. Cette

seconde étape se détermine par un potentiel réduit de la transpiration et de l'assimilation Chlorophylliennes. Cependant, la plante rétablit l'équilibre entre la demande climatique et l'offre en eau du sol par des mécanismes régis par le système racinaire, la régulation stomatique et l'ajustement osmotique (Blum, 1996). A la troisième phase, l'activité photosynthétique s'arrête sous l'effet pénalisant de l'intensité du déficit hydrique et donc de la fermeture des stomates. La transpiration est assurée par la cuticule, aboutissant à une baisse appréciable de la production de matière sèche (Chaves et *al.,* 2002).

Katerji (1989) mentionnent que les organes de la plante, racines, tiges et feuilles constituent chacun un réservoir en eau. Le rendement potentiel des cultures est réalisé en conditions de non stress (Blum, 2005). Cependant, dès que le niveau d'humidité baisse dans le profil cultural, tous les organes de la plante subissent des fluctuations de teneur en eau de façon inégale (Katerji, 1989). Le déficit hydrique est lié à un manque d'eau au niveau de la rhizosphère. Si l'avènement se localise à un stade sensible, il affecte une composante de rendement final. Toutefois, le risque climatique reste quasi-permanent en environnement semi-aride, ceci affecte la culture céréalière de 50 à plus de 90% (Giunta et *al.,* 1993; Chennafi et *al*., 2005). Cependant, le degré d'affection dépend de l'avènement du déficit et du stade végétatif et de la variété utilisés (Chennafi et *al.*2008b). Le déficit hydrique de montaison réduit le nombre d'épis/m^2 (NE) et le nombre de grains/épi (NGE) et affecte d'une manière indirecte le poids de mille grains (PMG). En effet, en milieu méditerranéen, le déficit hydrique contrainte principal de la production du blé réduit le potentiel productif de la culture en période de forte demande climatique et de la rareté des pluies (Oweis et *al*., 1999). Abbassenne *et al.,* (1998) indiquent que sous conditions pluviale des hautes plaines orientales, la durée de remplissage et par conséquent le poids du grain atteignent rarement leurs valeurs optimales, se traduisant par une baisse du rendement.

Sous stress hydrique, le nombre et la masse racinaire sont significativement affectés. La réduction du volume affecte la croissance, et diminue le diamètre. Cette réduction engendre une augmentation de la résistance au transfert de l'eau vers la partie aérienne (Menad, 2009). La conductance stomatique diminue avec le déclin du contenu hydrique du sol et la réduction de l'hygrométrie. Une résistance stomatique élevée limite le flux de l'eau à partir des racines et de ce fait réduit la transpiration. Elle diminue la concentration du CO_2 au niveau de la chambre sous stomatique et réduit l'activité photosynthétique (Tardieu, 1996). L'intensité du stress hydrique induit une baisse de la teneur relative en eau, ainsi que la réduction des

potentiels hydrique et osmotique foliaires. Alors que la croissance foliaire est fortement inhibée, dès l'avènement du stress hydrique, l'assimilation du carbone, réagissant moins vite, produit des assimilas qui sont déroutés en priorité vers la croissance racinaire et utilisés pour l'ajustement osmotique (Katerji, 1989; Blum, 1996), Ceci se répercute sur le rendement économique de la culture qui peut baisser de plus de 80% (Chennafi et *al*,, 2006).

3.3. L'effet des températures

La température permet d'évaluer la chaleur dont dépend le rythme de développement des plantes (Eliard, 1974). En effet la température de l'air est un indicateur du niveau énergétique de l'air. Ainsi, elle est considérée comme le principal élément de l'ambiance atmosphérique (Hufty, 2005). La température est un facteur important pour la durée des phases de pré anthèse et post-anthèses. Soltner (1985) considèrent que les conditions optimales de la céréale recommandent une somme de température de 150°C pour la période du semis-levée, 500 °C la phase levée-fin tallage, par contre à elle seule, la phase épiaison-maturité physiologique exige 850°C. Cependant, ces exigences sont variables selon les génotypes, les campagnes agricoles et les caractéristiques environnementales (Araus et *al*., 2003). Toutefois, la température est un élément climatique très variable, il fluctue sans cesse, à toutes les échelles de temps ou d'espace. De petits changements de température moyenne, de l'ordre de quelques degrés seulement affectent les conditions d'adaptation au climat (Hufty, 2005).

Sur les Hautes Plaines Sétifiennes, le niveau de performance du rendement dépend de la période de mise en place des cultures (Chennafi et *al*., 2011b). En effet, en environnement méditerranéennes semi-arides, le semis précoce affecte la fertilité des épis, liée aux effets des basses températures au cours du stade gonflement. Les variétés précoces sont sensibles aux gelées printanières qui affectent pénalisent stade début-montaison et détruisent l'épi du brin maître (Abbassenne *et al.,* 1998). Les dégâts sur les racines des céréales se manifestent particulièrement sur la croissance du rhizome. Les dommages sont plus accentués, lorsque le froid se manifeste brutalement après une période aux températures relativement douces, ce qui ne donne pas assez de temps à la plante de s'accoutumer ou de s'endurcir (Couvreur et *al.*, 1979). La contrainte du gel affecte notablement le rendement en grains de la culture et atteint des niveaux importants, allant jusqu'au sinistre total (Bouzerzour, 1990; Baldy, 1993). La tolérance au froid exprimée par la capacité de la plante à supporter des températures inférieures à 4ºC au stade de l'épiaison est un paramètre important à mesurer (Makhlouf et *al*,, 2006).

Au semis, l'effet des hautes températures se matérialise par une réduction de la longueur de la coléoptile, la plante ne peut pas s'ancrer en profondeur et devient très sensible aux effets du stress thermique. En effet, la température du sol affecte la coléoptile, la réduction de sa longueur est estimée à 10 mm à une température de 15°C et tend vers une valeur supérieure à un seuil de température de 35°C (Kirby, 1985). En période de tallage herbacé, des températures variant de 15 à 20°C sont considérées favorables pour la production d'un nombre de talles appréciable (Makhlouf, 2006). Cependant, pendant la phase de montaison, l'occurrence plus fréquente de températures élevées a une incidence défavorable sur la croissance des tiges. Les semis tardifs sont la conséquence d'une réduction du rendement en grains liée à une diminution du nombre d'épis et du poids moyen du grain, causée par les effets des hautes températures en fin de cycle (Hauchinal *et al.,* 1993). La phase de remplissage du grain est très sensible à l'avènement des fortes températures. Des valeurs enregistrées de 25 à 30 °C limitent la durée de remplissage du grain et en revanche affectent le poids final (Zahedi et Jenner, 2003 ; Bahlouli et *al*., 2008). Les variétés dont l'épiaison est précoce sont à rendement plus performant que celles tardives. La réduction du rendement est estimé de 35.3 à 91.0 kg ha^{-1} pour un délai de un jour de retard à l'épiaison (Tewolde et *al*., 2006). Les auteurs considèrent que les génotypes à épiaison précoces auront une post-épiaison plus longue et, par conséquent une période de remplissage du grain plus étalée. Ceci leur permet d'assurer un rendement plus conséquent.

3.4. L'effet de la salinité

La salinité s'exprime en conductivité électrique (CE) en millimhos ou micromhos. Les Américains considèrent qu'un sol est salé lorsque la CE à 25 °C est supérieure à 4 millimhos. Le blé tolère des valeurs de CE de 4.5 millimhos (Durand, 1981). Le blé tendre semble plus tolérant au sel que le blé dur (Slama, 1986; Roudani, 1996). La réponse à la salinité se manifeste généralement chez la plupart des plantes cultivées par un effet dépressif sur la croissance et le développement (Munns, 1986; Schachtman, 1995). Cette réponse varie considérablement en fonction du genre, de l'espèce et même de l'écotype ou de la variété (Epstein et *al*, 1980; Mass, 1986; Cramer, 1994). La diminution de la croissance est une réponse à la déshydratation; elle contribue à la conservation de l'eau, ce qui permet la survie de la plante (Hasagawa et *al.*, 1984; Binzel et *al.*, 1988).

3.5. L'effet des ennemies des cultures

En absence de mesure de lutte, les pertes potentielles dues aux maladies, aux animaux ravageurs et aux plantes adventices sont estimées de 50 à 80% de la production potentielle (FAO, 1990). Les plantes adventices partagent le même espace que la culture, ils se servent des mêmes facteurs de lumières, éléments nutritifs et eau. Cette Concurrence entraîne une croissance rabougrie de la culture. Les mauvaises herbes sont également nuisibles par l'hébergement d'animaux ravageurs et de maladies qui menacent la culture (Scheepens et *al.*, 2007). La compétition de la mauvaise herbe se traduit par une baisse du rendement potentiel des cultures. En Algérie, les pertes dues à la présence des mauvaises herbes dépassent 50% de la production finale (Kadra, 1976). Sur les hauts Plateaux Sétifiens, les plantes adventices affectent fortement le rendement des céréales (Machane, 2008).

Les maladies influent sur la biomasse aérienne et sur le rendement en grain. L'affection concerne la semence ainsi que la qualité des productions. Les pertes en tonnage sont les plus immédiatement ressenties. En Algérie, la Septoriose réduit le rendement du blé tendre de 50%.

4. Les modes de labour du sol

4. 1. Le travail conventionnel

La gestion des terres est recommandée en agriculture pluviale qui est la source principale des produits agricoles. La bonne préparation des sols améliorent le taux d'infiltration des eaux de ruissèlement, préservent de l'eau dans la zone des racines (FAO, 2004). Le travail du sol doit être réalisé dans les normes d'amélioration de la stabilité structurale par l'enfouissement de la matière organique, de l'aération et de la capacité de stockage des éléments nutritifs et de l'eau au profit de la plante, en réduisant conjointement les effets des plantes adventices (Gréco, 1978). Cependant, les techniques traditionnelles de labour exposent le sol aux phénomènes d'érosions hydrique et éolienne, détruisent la matière organique, dégradent la structure des sols et réduisent la productivité des cultures (Bouzerzour et *al*., 2006). Toutefois, le labour du sol occupe une place particulière en raison de l'importance de son effet sur les caractéristiques morphologiques et physico-chimiques des parcelles cultivées. En effet, le travail du sol modifie la structure des sols cultivés, il affecte donc indirectement le fonctionnement du peuplement végétal et la plupart des processus physiques, chimiques et

biologiques qui se déroulent dans le sol. Il conditionne le cycle des éléments minéraux et du carbone, le devenir des résidus de culture, le transfert de l'eau et des substances dissoutes (Nicou et *al*., 1993). Le travail du sol est une composante principale de l'itinéraire technique des grandes cultures, la valorisation des facteurs de production comme la variété, la semence certifiée, le désherbage chimique, la fertilisation et l'irrigation déficitaire dépend, en grande partie de la qualité du travail du sol, qui elle-même dépend de l'outil ou des outils et de la date de réalisation des travaux. Autrement dit, de l'état du sol laissé par le précédent cultural (Chennafi et *al*., 2011a). Sebillotte (1990) définit le système de culture par l'ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles traitées de manière identique. Ce concept comprend la succession culturale et les itinéraires techniques appliqués à ces différentes cultures (Carof, 2006). Un système de culture est le résultat du choix de l'agriculteur, effectué en fonction des conditions naturelles, de la structure de l'exploitation, de son niveau technique et des possibilités du marché (Ait Ouali, 2010).

La région des Hautes Plaines Sétifiennes comptabilise 175 milles hectares de céréales, 18 milles hectares de fourrages et 131 milles hectares de jachère (DSA, 2010). Les céréales et les cultures fourragères sont conduites en pluvial. La céréale domine dans un système biennal céréales/jachère travaillée qui est typique du Dry farming et se concentre dans la zone réservant 400 m et de manière plus marquée dans les exploitations de taille supérieure à 50 ha (Lahmar et Bouzerzour, 2011). La jachère est pratiquée durant 16 mois, de la récolte de la céréale en Juillet jusqu'au mois de Novembre période de mise en place de la culture de céréale suivante (Hannachi et Fellahi, 2010). L'amélioration des propriétés du sol par la jachère contribue à la conservation d'une quantité d'eau de 60 mm au niveau du profil cultural pour la culture suivante (Perrier, 1973). Dans les conditions des Hauts Plateaux Sétifiens, sous précédent cultural jachère, la quantité d'eau préservée est plus appréciable comparativement au précédent blé (Chennafi et *al*., 2011a).

Les modes de labour du sol sont définis par le travail conventionnel (TC) et le travail de conservation du sol avec le travail minimum (TM) et le non labour ou semis direct (SD). Le travail conventionnel du sol est un système caractérisé par un labour entre deux cultures, créant un lit de semences avec les opérations de labour secondaire. Les risques de détérioration de la structure du sol augmentent considérablement si les équipements utilisés sont peu adaptés. Les risques d'érosion et de ruissellement augmentent sur surface du sol qui est sans couverture végétale (FAO, 1997). La dégradation du sol par la réduction de la matière

organique, la détérioration de la structure résulte de la conjoncture des facteurs du climat, de la nature du sol et des procédés d'exploitation (Gréco, 1997).

Les effets liés au travail conventionnel, par la réduction de la fertilité du sol, les charges énergétiques nécessaires pour réaliser le travail du sol, les bas rendements et l'exploitation abusive des ressources naturelles démontrent l'utilité de la pratique de techniques conservatrices du sol. Les pratiques de l'agriculture de conservation selon la FAO(2004) telles que les méthodes aratoires antiérosives préservent de l'humidité dans le sol. La pratique du labour, avec une charrue à versoirs, reste encore aujourd'hui la technique de travail du sol la plus répandue dans le monde. Cette pratique a permis d'augmenter la productivité des cultures grâce notamment à son action de contrôle sur le développement des adventices et de fragmentation de la structure du sol. Cependant, au cours du 20ème siècle la baisse de la fertilité des sols a été détectée aux Etats-Unis et qui a pour origine la dégradation excessive due à l'érosion des sols ("Dust Bowl"). Cette situation a conduit à l'élaboration de techniques alternatives au labour. L'initiation a été réfléchie et proposée par Edward Faulkner qui publia son livre "Plowman's Folly" en 1942 (Lal et *al*., 2007). Cette recherche a été la base d'inspection de l'état des sols à travers le monde sous des conditions pédoclimatiques diversifiées. Les paramètres relevés de dégradation se démarquent sur les sols labourés par le tassement, la baisse niveaux de la matières organique des sols, l'érosion, la mauvaise circulation de l'eau (Koller, 2003; Lal et *al*., 2007) suivis du coût énergétique et financier élevés du labour conventionnel (Monnier, 1994).

4.2. L'agriculture de conservation

En Afrique du Nord, le Maroc, pionnier du semis direct au Maghreb, a commencé à porter un intérêt à cette pratique au début de l'année 1980 (Mrabet, 2004). La recherche des techniques de production en semis direct du blé ont commencé en 1983, dans les zones situées sous l'Isohyète 200-450 mm de pluie (Bouzza, 1990). Cependant, l'agriculture de conservation nécessite la gouvernance politique appuyée par des gestionnaires spécialistes pour entamer des travaux expérimentaux en fonction de la diversité du climat et du sol. En Tunisie, les projets de développement relatifs au semis direct et l'agriculture de conservation ont débuté en 1999, grâce à des projets financés par le Fond Français de l'Environnement Mondial, réalisés sur des expérimentations conduites sur des parcelles d'agriculteurs. Les études ont cerné l'effet des systèmes contrastés de labour du sol (Angar et *al.*, 2010).

L'Algérie accuse un retard dans la pratique de l'agriculture de conservation comparativement au Maroc et la Tunisie (Kheyar et *al*., 2007). La technique de non labour du sol est à son niveau initial en dépit des efforts qui devraient être consentis dans le cadre de l'application de cette nouvelle technique de conservation des ressources naturelles et dans le but d'améliorer la production des cultures. C'est un système qui devrait ressortir dans les urgences d'action du secteur de l'agriculture. La rénovation de cette nouvelle technique de conservation et de gestion des sols améliore les rendements des cultures dans un contexte de développement durable.

Néanmoins sur la région des Hauts Plateaux Sétifiens, des investigations ont été réalisées pour évaluer la situation des pratiques du labour conventionnel et l'intérêt qui doit être porté sur les pratiques de conservation. Des travaux ont porté sur l'optimisation du rendement du blé sous l'interaction du précédent cultural et de la nature de l'outil de labour du sol; le comportement de variétés contrastées de blé dur à la date d'implantation en semis direct; la conduite de l'orge sur des modes contrastés de labour du sol (Bouzerzour et *al*., 2006; Chennafi et *al.,* 2011a*,* Chennafi et *al.,* 2011b; Bouguendouz, 2011).

L'agriculture de conservation est axée sur des principes définis lors du Premier Congrès International sur l'Agriculture de Conservation (PCIAC) qui s'est déroulé à Madrid en 2001. Les normes retenues sont l'absence de retournement profond du sol et la mise en place des cultures en semis direct, le maintien d'un couvert végétal permanent avec l'adoption judicieuse de cultures dans une rotation suffisamment longue (Benites et Ashburner, 2001). Le non labour, le labour minimum, le labour réduit et le labour sous paillis ou mulch, est une dénomination synonyme qui signifie le labour de conservation (Unger, 1990).

Derpsch (2001) rappelle l'intérêt de l'agriculture de conservation dans la conservation, l'amélioration et la gestion de la ressource naturelle en sols, en eau en interaction avec l'activité biologique. Chennafi et *al*., (2011b) mentionnent que l'agriculture de conservation combine la couverture du sol, le non labour ou le travail réduit, la nature de l'outil de labour du sol et la rotation des cultures. Lal (1983) démontre l'aspect économique du système caractérisé par un investissement moins élevé en outils, réduction du temps et de l'énergie mise en jeu pour l'installation des cultures. Les avantages de l'agriculture de conservation sont liés à l'enrichissement du sol en matière organique. En effet, le non retournement du sol en semis direct conduit à fixer la matières organique en surface et donc enrichit les premiers cm du sol en éléments minéraux (Michon, 2007; Bouzrara et Ould Ferroukh, 2011; Chervet et *al*., 2005; Mrabet, 2008). Sous semis direct, la teneur en matière organique évolue au cours du

temps de manière appréciable. En effet, comparativement au labour conventionnel, sous semis direct, le sol s'enrichit en élément minéraux (Follett et Peterson, 1988; Edwards et *al*., 1992). Cependant, il semble que le phosphore et le potassium peuvent être réduits au niveau des horizons de profondeurs (Pekrun et *al*., 2003).

Par la pratique des techniques de conservation du sol, les concentrations en Carbone et en azote organiques sont plus notables sur les horizons de surface et décroissent dans les horizons sous-jacents (Michon, 2007). La réduction du travail du sol accroît la séquestration du carbone (Richard, 2004; Thomas et *al.,* 2009). D'autre part, le système de labour réduit et de non labour limite l'érosion du sol. En revanche, il représente une technique d'avenir pour la défense des sols contre l'érosion. Le sol agricole est précieux et rare et par conséquent, il doit être protégé (Gréco, 1979).

La couverture végétale diminue l'effet mécanique des gouttes de pluie et y améliore l'infiltration de l'eau. Elle réduit l'évaporation de l'eau du sol, limitant ainsi le desséchement des couches superficielles du sol (Seguy., 2006). La présence de résidus à la surface du sol freine le ruissellement et permet de réduire efficacement les risques d'érosion (Basic et *al*., 2004). En revanche, l'amélioration des propriétés physico-chimiques déterminent au préalable l'importance de la présence d'un mulch sur le sol dans l'amélioration de la productivité des céréales. La couverture végétale sur le sol améliore le rendement en grain et la biomasse aérienne (Mrabet, 2008; Fellahi et Hannachi, 2010; Chennafi et *al.,* 2011).

L'amélioration du rendement est justifiée essentiellement par la préservation de l'eau dans le profil cultural et qui est utilisée à un stade végétatif sensible au manque d'eau, réduisant ainsi la contrainte climatique (Fellahi et Hannachi , 2010; Chennafi et *al*., 2012b). Dans Les environnements arides et semi-arides, la conservation de l'eau est un atout majeur pour la production végétale. Le défi dans ces régions est celui de gérer la ressource en eau de la manière la plus efficace possible (Chennafi et *al.,* 2006). En semis direct, l'humidité du sol de l'horizon superficiel est améliorée (Bourguignon et Bourguignon, 2004). La présence de résidus à la surface du sol réduit l'évapotranspiration (Chervet, 2006), freine le ruissellement et favorise l'infiltration (Gainza, 2004; Chervet et *al.,* 2005; Muller et *al.,* 2008) d'où l'amélioration de la capacité de rétention du sol pour la préservation des eaux de pluie (Richard, 2004). Le stockage de l'eau de pluie est amélioré de 10 à 30 % par rapport aux techniques traditionnelles (Mrabet, 2001), parfois même de 35% (Razine, 2008). Tout gain

d'humidité réalisé, suite à une meilleure gestion de la culture et de l'interculture a, souvent, des conséquences appréciables sur l'augmentation des rendements, à cause de la meilleure efficience d'utilisation de l'eau (Chennafi et *al.,* 2006).

Les graines des mauvaises herbes enfouies ne sont pas exposées à la surface comme c'est le cas par les travaux du sol. Le stock semencier des mauvaises herbes semble donc diminuer en semis direct (Mrabet, 2001; Gainza, 2004; Razine, 2008). Par contre Murphy et *al*., (2006) considèrent que le semis direct favorise le développement des graminées annuelles et des adventices vivaces. La prolifération des adventices en semis direct peut accroître les charges opérationnelles liées aux herbicides (Debaeke et Orlando, 1994).

4.3. La réponse de la culture céréalière aux techniques de labour

En milieu déficitaire en eau, Bonfil et *al.,* (1999) soulignent l'intérêt du non labour du sol , cependant le mulching avec paille est une technique simple pour réduire l'évaporation de l'eau du sol. En revanche, la gestion de la conservation du sol par la non perturbation associée à une couverture végétale augmentent conjointement le rendement et l'efficience d'utilisation de l'eau. Par l'intermédiaire, cette pratique culturale améliore aussi la structure et augmente la capacité d'infiltration du sol en minimisant l'évaporation de l'eau du sol (López-Bellido et *al*., 1996; Merrill et *al*., 1996). Le rendement meilleur en non labour est justifié par la conservation d'une quantité d'eau dans le profil cultural que les plantes utilisent au cours du cycle végétatif (Bonfil et *al.,* 1999). Le maintien des résidus de récolte à la surface du sol en milieu semi-aride protège le sol contre l'érosion et l'approvisionne en éléments nutritifs.

Le non labour du sol est considéré donc une pratique culturale appropriée, par l'augmentation de la teneur en matière organique et l'amélioration de la fertilité du sol. Les rendements en grain et en paille chez le blé en conditions de non labours sont plus conséquents comparativement au conventionnel et au travail simplifié (Mrabet, 2008). Cependant, Condon et *al*., (2004) exposent l'urgence de l'amélioration de l'efficience d'utilisation de l'eau par les cultures, il introduit le concept de l'amélioration de l'efficience d'utilisation de l'eau de transpiration. Turner (2004) révèle que le travail minimum est recommandé pour préserver l'eau pour la plante, améliorer l'efficience d'utilisation de l'eau et l'indice de récolte des cultures. Cependant, la réponse des cultures à la réduction et au non labour du sol reste liée aux milieux expérimentaux et aux moyens mis en pratique. A partir des recherches réalisées dans le monde, Triplett et Dick (2008) mentionnent des réponses divergentes et convergentes des cultures sous conduite de non labour du sol comparativement au conventionel.

Chapitre II

Matériel et Méthodes

Chapitre II. Matériel et Méthodes

1. La description du site expérimental

L'expérimentation a été conduite au cours de la campagne 2011/2012, sur le site de la Ferme Expérimentale Agricole (SEA) de l'Institut Technique de Grandes Cultures (ITGC) de Sétif, sur le lieu dit R'Mada. La SEA est située à 5 km au sud -ouest de la ville de Sétif. Les coordonnées géographiques du lieu sont 1081 m asl d'altitude, la latitude de 36° 18'Nord et la longitude est de 5° 41'Est (FAO, 2006). Le climat du site est de type méditerranéen, continental, appartenant à l'étage bioclimatique semi-aride, caractérisé par deux saisons distinctes, la prédominance des pluies en saison froide, un été chaud et sec (Baldy, 1986). Le sol du site présente de grandes variations. Il est profond, avec peu de calcaire et plus fertile dans le voisinage du lit de l'Oued Boussalem. Il est plus calcaire avec présence d'encroûtements et peu profond sur les parcelles, plus éloignées et en altitude. La teneur en matière organique varie de 1.4 à 2.8 % en surface, en profondeur elle atteint des valeurs inférieures plus faibles (Kribaa et *al.,* 2001; Chennafi et *al.,* 2006).

2. La mise en place et la conduite de la culture

2.1. Le matériel végétal utilisé

La culture de blé tendre (*Triticum aestivum L.*) variété El WIFAK a été testée pour son comportement à l'égard du labour contrasté du sol. Le matériel végétal provient du Centre International d'Amélioration du Maïs et du Blé (CIMMYT). La variété a été sélectionnée et introduite au niveau de la ferme semencière de l'ITGC de Sétif. La variété se distingue par la précocité par rapport au HD1220. La hauteur de la plante est moyenne (CNCC, 2011).

2.2. Le dispositif expérimental

La variété a été mise en expérimentation pour tester la réponse du rendement aux effets des labours contrastés du sol. En effet, El WIFAK a été soumise à trois traitements (T) relatifs aux modes de labour du sol. Le travail conventionnel du sol (T1), le labour minimum (T2) et le non labour du sol ou semis direct (T3) ont été répartis dans un dispositif expérimental en blocs complètement randomisés, avec trois répétitions. Chaque bloc est composé de trois parcelles élémentaires. L'essai comporte, donc neuf parcelles élémentaires de dimensions 40 m de long et 6 m de large, déterminant une superficie de 240 m². Les parcelles élémentaires avec une ligne de semis espacées de 1 mètre (figure 8).

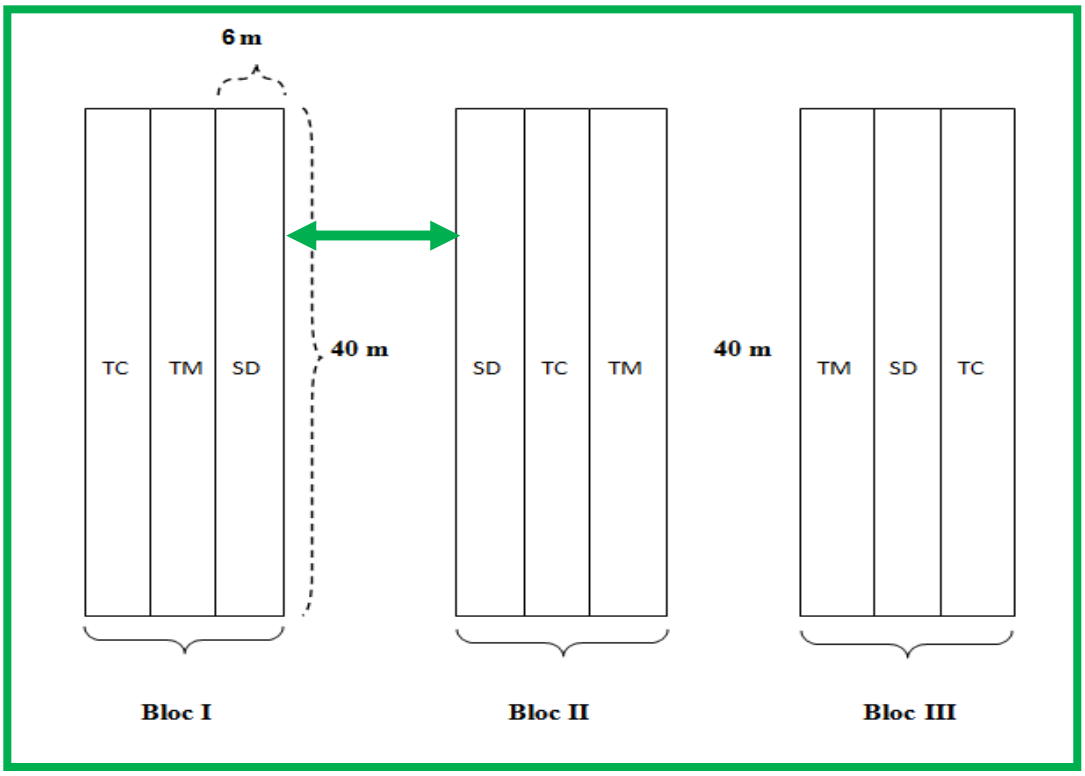


Figure 8. Plan de l'essai

2.3. La préparation du sol

Le Travail Conventionnel (TC)

La technique du labour conventionnel est liée à un labour profond du sol. Cette technique se distingue par la perturbation du sol et donc par l'émiettement excessifs et donc engendre une destruction de la structure et une réduction de la fertilité du sol. Le labour a été effectué le début du mois de novembre 2012, en utilisant la charrue bisocs réversible (**Figure 9**) sur les parcelles élémentaires destinées à recevoir le travail classique sur une profondeur du sol de 25 cm. Au labour profond a suivi le premier recroisage réalisé le 5 janvier 2012, son action est de briser les grosses mottes et préparer le lit de semence. Le second recroisage suivi d'un hersage ont été faits le début janvier 2012 pour détruire les mauvaises herbes. Cette pratique culturale contribue à incorporer au sol tous les débris végétaux de la culture précédente et de préparer le lit de semence.

Figure 9. Le travail profond effectué à la charrue bisocs réversible

Le Travail Minimum (TM)

La technique simplifiée du labour du sol est assurée par le travail minimum du sol. Ce système de conservation du sol a consisté à un passage cover-crop (**Figure 10**) sur les parcelles élémentaires. Le labour a été effectué le début Janvier 2012, à une profondeur du sol de 15 cm, suivi d'un hersage pour le nivellement du sol pour la préparation de la mise en place de la semence. Cette technique caractérisée par une réduction du travail du sol n'a pas assuré un bon enfouissement des débris végétaux de la culture précédente.

Figure 10. Le travail minimum effectué par un cover-crop

Le semis direct (SD)

Le système de non labour du sol, appelé aussi le zéro-labour est le semis direct (SD). En revanche, la perturbation du sol est éliminée et la technique culturale assure la mise en place de la culture par le passage du semoir qui dépose les grains (**Figure 11**). Les résidus des cultures restent maintenus en surface des parcelles. Par conséquent, ces restes de la récolte précédente assurent une protection du sol contre l'érosion.

Figure 11. Semis direct au semoir Semeato-Personale Drill 17 cm

2.5. La mise en place de la culture

Le cultivar EL WIFAK a été mis en place le 09 janvier 2012 pour les trois systèmes de labours contrastés. Cependant, le semis a été assuré en utilisant le semoir expérimental ordinaire de marque Tarrup pour le Travail Conventionnel (TC) et le travail minimum simplifié (TM). Par contre, le semis direct (SD) a été effectué par un semoir spécifique de marque Semeato-Personale Drill 17 cm. La dose de semis est de 120 kg ha^{-1} pour les trois systèmes.

La lutte chimique contre les mauvaises herbes a été réalisée en deux étapes. Le premier traitement a été assuré le 31/12/2011, période de pré-semis, l'utilisation d'une quantité de 3 lha^{-1} d'un désherbant total le Glyfos, dosant 360 gl^{-1} de Glyphosate. Les parcelles ont reçu un second traitement le 15/03/2012 (68 JAS), réalisé avec un pulvérisateur tracté en utilisant un produit nouveau sur le marché Pallas 45OD, dosé à 45 gl^{-1} de Pyroxulam + 90 gl^{-1} de Cloquintocet-Mexyl. Les parcelles on été traités à une dose de 0,75 l ha^{-1}

La fertilisation phosphatée a consisté à un apport aux parcelles expérimentales, d'un engrais de fond, le mono-ammonium phosphate (MAP), de formule 12.52.0, Azote ammoniacal (NH4, 12%), Phosphore (P_2O_5, 52%) pH: 4.5. Dans le cas de la technique de conservation du sol par le semis direct, le produit a été incorporé directement au sol pendant l'opération de semis. Cependant, dans le système de travail conventionnel et du labour simplifié, la fertilisation a été réalisée avant le semis. La dose d'épandage utilisée était de 100q ha^{-1}. La fertilisation azotée a été réalisée manuellement par l'épandage de l'urée à 46% à une dose de 1.20 q ha^{-1}. L'apport a été pratiqué le 18 Mars 2012 (71 JAS), au stade de tallage et a concerné les parcelles expérimentales des trois modes de conduite de labours.

La levée est atteinte lorsque 50% des plants sur la parcelle sont levés. Ce stade a été noté le 03 février 2012 en condition de semis direct (SD) et donc semble être précoce comparativement aux TC et TM. En effet, sur les parcelles en travail minimum simplifié et en travail conventionnel, la levée a été respectivement notée le 06 et 07 février 2012.

3. Le suivi de l'expérimentation et la notation des paramètres

L'analyse du comportement de la variété aux trois techniques de conduite est évaluée par la notation des paramètres liés à la culture, l'humidité du sol et aux composantes climatiques au cours de son cycle végétatif. Le comportement de la variété EL WIKAK conduite en techniques de labours contrastés est visualisé sur les parcelles (**Figures** 12, 13et 14).

Figure 12. Parcelle en labour conventionnel (TC)

Figure 13. Parcelle en labour minimum(TM)

Figure 14. Parcelle en semis direct (SD)

3.1. Les paramètres liés au sol

3.1.1. La variation de l'humidité du sol

La teneur en eau du profil cultural des parcelles expérimentales a été relevée sur les profondeurs de 0-20 et 20-40 cm et selon le type du labour. Elle est déduite selon la méthode gravimétrique qui consiste à sécher l'échantillon à 105°C pendant 24 heures. La perte du poids après séchage est égale à la teneur en eau du sol. Les valeurs obtenues sont exprimées en pourcentage par rapport au poids de l'échantillon sec du sol. Les pesées ont été effectuées au laboratoire de l'ITGC avec une balance de précision de marque Ohaus série Scout Pro. L'humidité pondérale (H%) du sol est exprimée par le rapport de la variation du poids d'eau (PE= PF-PS) entre le poids frais (PF) et le poids sec (PS) au poids de terre sèche (PS), selon l'expression décrite par Henin (1977).

$$H\% = 100 \times PE/PS \qquad 1$$

Henin (1977) élabore le modèle déterminant la réserve en eau du sol (Se) évaluée en fonction de l'humidité volumique (Hv), (Hv= H% x da), da= densité apparente du sol, la profondeur d'enracinement de la culture (Z).

$$Se = Hv \times Z$$

La quantité d'eau du sol disponible (ESD) pour la plante au niveau du profil cultural est évaluée par l'expression fonction de l'humidité pondérale observée (H%), l'humidité au point de flétrissement (Hf= 11%), la densité apparente du sol (da= 1.3) et la profondeur utile du sol (Z, mm), paramètres notés par Chennafi et *al*., (2011).

$$ESD\ (mm) = [(H\% - HF)/100] \times Z \times da$$

La quantité d'eau totale utilisée (ETU= EUC) au cours du cycle de la culture inclut la transpiration (T) de l'eau des plants de la culture et celle perdue par évaporation (Es) à partir du sol (Ehdaie, 1995; Chen et *al*., 2003; Sezen, 2006).

$$ETU\ (mm) = T + Es = ET = P + \Delta ES$$

Avec ET= Evapotranspiration (mm), P= cumul des précipitations (mm) au cours du cycle de la culture, ΔES= variation du stock d'eau du sol entre le semis et la récolte (mm). Le drainage à partir de la zone des racines est considérée nul.

3.1.2. L'efficience d'utilisation de l'eau (EUE) par la culture

L'efficience d'utilisation de l'eau est définie par le rapport qui exprime le rendement en grain (RDT) ou la biomasse aérienne (BIO) réalisés par la culture sur le total de l'eau utilisée au cours du cycle de la culture (EUC) (Stewart, 1985; Oweis et *al*., 2000).

$$EUE_{RDT}\ (kg\ ha^{-1}mm^{-1}) = RDT/EUC$$

$$EUE_{BIO}\ (kg\ ha^{-1}mm^{-1}) = BIO/EUC$$

3.1.3. Les quantités d'eau transpirée par la culture et évaporée par le sol

La quantité d'eau transpirée (T, mm) est évaluée en fonction de la biomasse aérienne formée (BIO, kgm^{-2}), le déficit moyen de pression de vapeur (Δe, Pa) de l'atmosphère et de la feuille et le coefficient physico-physiologique de la culture (k). La méthode est celle énoncée par Moutonnet (1982).

3.1.4. La densité apparente du sol

La densité apparente du sol (da) est déterminée selon la procédure décrite par Yoro et Godo (1990). Le principe de la méthode au cylindre est fondé sur l'évaluation du poids spécifique apparent d'un volume (V) de sol prélevé, le volume est celui du cylindre. Le poids prélevé (p) est évalué par pesée au laboratoire après séchage à 105°C pendant 24 heures en utilisant une balance de précision. La densité apparente est déduite en fonction des deux variables mesurées.

$$da = P/V$$

3.1.5. La vitesse d'infiltration de l'eau du sol

La vitesse d'infiltration (k, cmh^{-1}) de l'eau dans le sol est associée au degré de perméabilité de ce dernier. Elle a été déterminée par un mini infiltromètre à disques (**Figure 15**) selon (Decagon, 2005). De faibles valeurs de l'infiltration génèrent le ruissellement en surface du sol (Musy, 1991). L'infiltration est liée à la texture et à la structure du sol.

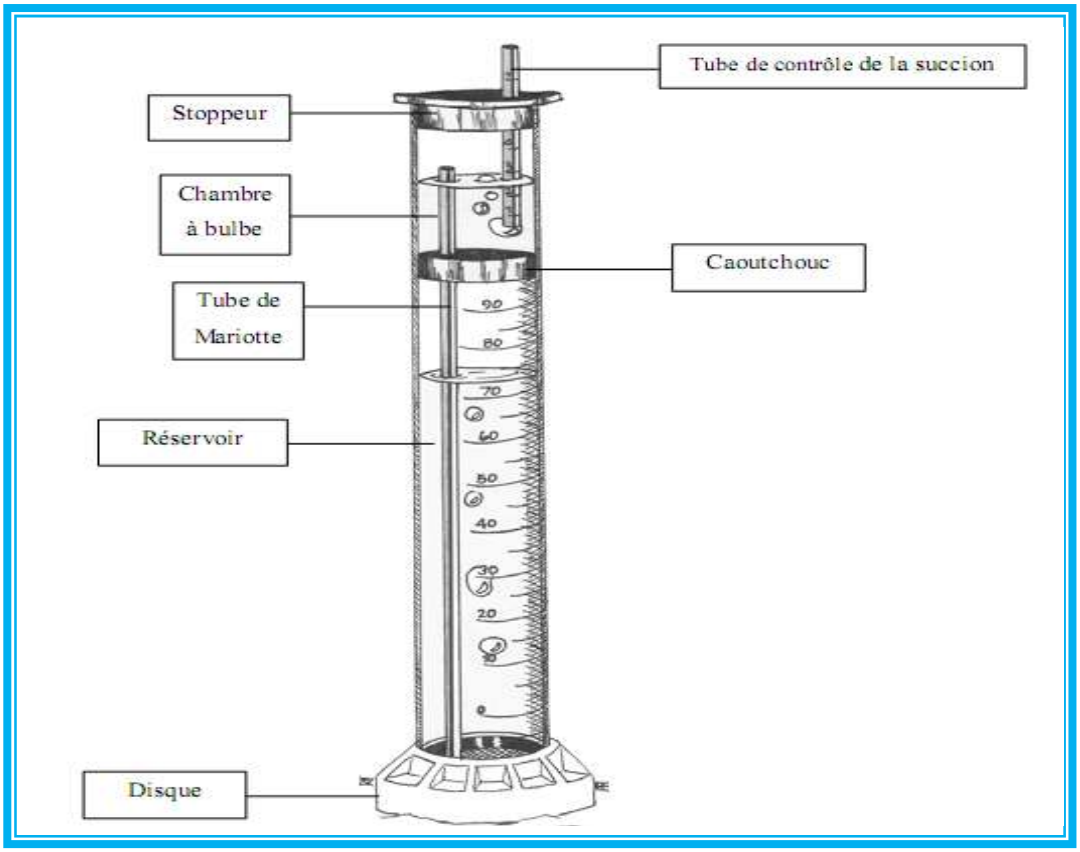


Figure 15. Le mini-infiltromètre à disques (Decagon, 2005)

La conductivité hydraulique (K, cms^{-1}) est exprimée par le coefficient (C2, cms^{-1}) lié à l'infiltration de l'eau dans le sol en fonction du temps sur le coefficient adimensionnel (A2) dépendant de la texture du sol et de la valeur de tension h0 choisie, égale à 6 (expérimentation). Le quotient K est le rapport de C2/A2 (Bélanger, 2010)

3.1.6. Le taux de matière organique

Le taux de la matière organique (MO%) a été dosé selon la méthode d'Anne (1945). Le principe consiste à l'extraction du carbone organique à chaud en utilisant du bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_{7)}$ en milieu sulfurique (H_2SO_4). L'excès inutilisé de $K_2Cr_2O_7$ est dosé par une solution de sel de Mohr $(NH4)_2Fe_2(SO_4)_2$. Le carbone organique représente 58% de la matière organique (OROSTOM, 1970).

$$\mathbf{MO\% = CO\% \times 1.72}$$

3.2. Les mesures réalisées sur la culture

3.2.1. La teneur relative en eau

La teneur relative en eau **(**TRE%) de la feuille a été déterminée selon la méthode décrite par Barrs (1968). Sur parcelles expérimentales, dix feuilles sont prélevées la matinée pour tous les traitements et les répétitions. Les échantillons ont été prélevés 128 JAS, 135 JAS, 142 JAS. Les feuilles sont coupées à la base du limbe, mises dans des sachets en polyéthylène, étiquetées. Les feuilles pesées (poids frais, PF) sont trompées dans de l'eau distillée pendant 24 heures, elles sont pesées à l'état de turgescence (PT). Le poids sec (PS) des échantillons est obtenu après séchage à l'étuve pendant 48 heures à 80°C. La teneur relative en eau est estimée selon la méthode de Turner (1981).

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

3.2.2. L'intégrité cellulaire

Le test de l'intégrité cellulaire (CI%) a été réalisé selon la méthode décrite par Sullivan (1972). Dix feuilles étendards sont prélevées au hasard par traitement et par répétition. Elles sont lavées à l'eau courante, découpées en segments de 1cm de long. Les échantillons sont mis dans des tubes à essai auxquels sont ajoutés dix ml d'eau distillée déminéralisée. Trois tubes à essai et par traitement ont fait l'objet d'utilisation. La méthode consiste à mesurer la conductivité électrique (CE, ms) de l'échantillon en utilisant un conductimètre de marque Conductivity Meter HI9932. La première valeur de la conductivité électrique (CE_1) a été relevée sur les échantillons placés à la température ambiante du laboratoire (T=25°C). La seconde valeur de la conductivité électrique (CE_2) est notée 24 heures après le passage des échantillons placés au bain marie à une température de 100°C, pendant 60 minutes. Le pourcentage de cellules endommagées (CI%) est estimée sous l'effet de l'augmentation de la température.

$$\mathbf{IC\ (\%) = 100 \times (CE_1/CE_2)}$$

3.2.3. La cinétique de la biomasse aérienne

La matière sèche (MS) accumulée est mesurée à différentes dates (45, 56, 63, 76, 95, 120,151, JAS) au cours du cycle de la variété. La végétation échantillonnée est fauchée sur un segment de rang de 0.5 mètre linéaire, par traitement et par répétition. Le poids de la matière

sèche est déterminé après passage à l'étuve à une température de 80°C pendant 48 heures (Ehdaie et *al*., 2006). Les résultats obtenus sont exprimés en qha^{-1}. La vitesse absolue de croissance se définit comme l'augmentation de biomasse accumulée par unité de temps.

3.2.4. L'indice foliaire

L'indice de la surface foliaire (LAI) est le rapport de la surface foliaire (SF) sur la surface du sol (SS) (Khan et *al.,* 2005).

$$LAI = SF/SS$$

La surface foliaire (SF, cm²) a été estimée selon la méthode décrite par Belkharchouche et *al*., (2009) par le produit de la longueur (L, cm²) x la largeur (l, cm²) x le coefficient moyen caractéristique de la céréale (Stoskopf, 1981; Bilgi, 2006; Belkharchouche et *al*., 2009).

$$SF\ (cm^2) = 0{,}697\ (L \times l)$$

Le prélèvement a été réalisé sur 30 centimètres linéaires aux stades (45, 56, 63, 76, 95, 120,151, JAS).

3.2.5. L'analyse des valeurs décadaires des éléments du climat

L'analyse des valeurs décadaires des éléments du climat de la campagne agricole 2011/2012 ont porté sur les températures maximale, minimale et moyenne, ainsi que sur le cumul des précipitations. La demande climatique évaluée par l'évapotranspiration potentielle (ET0) et les besoins en eau de la culture du blé (ETC) ont été estimées par le logiciel CROPWAT version 8 développé par Smith et *al.,*(2000) (FAO). L'ET0 est calculé selon la méthode de Penman-Monteith, sur la base de la température maximale (°C), minimale (°C), l'humidité relative de l'air (%), la vitesse du vent (kmj^{-1}) et de l'insolation horaire, et des coordonnées géographiques du lieu.

3.2.6. Le rendement en grains et ses composantes

Les mesurés ont été obtenues à partir des échantillons des bottillons fauchés manuellement sur un segment de rang de 3 mètres linéaires pour toutes les parcelles. Elles ont concerné la biomasse aérienne (BIO, qha^{-1}), le comptage du nombre des épis au mètre carré (NEm-²) et le rendement en grains (RDT, qha^{-1}) déterminé par battage des épis. L'indice de récolte (HI%) est exprimé par le rapport [H%= 100 x (RDT/BIO)] (Prihar et Stewart, 1990). La hauteur de la plante (HT, cm) est mesurée selon la méthode notée par Bahlouli (2006). Le poids de mille grains (PMG, g) est mesuré par comptage et pesée de 250 graines.

Le nombre de grains par mètre carré (NGM^{-2}) et le nombre de grains par épi (NGE) sont déduits en fonction du RDT(gm^{-2}), NE et le PMG (g) par calcul.

$$\mathbf{NGE= (1000 \times RDT/(PMG \times NE)}$$

$$\mathbf{NGM^{-2}= 1000 \times (RDT/PMG)}$$

Les parcelles expérimentales ont récoltées à la fin du mois de juin 2012 en utilisant une moissonneuse batteuse expérimentale de HUGUE 90 (**Figure 16**).

Figure 16. Récolte à la moissonneuse batteuse

4. L'analyse des données

Les données sur le climat qui ont caractérisé la campagne agricole 2011/2012 ont été obtenues de l'Office National de la Météorologie de Ain Sfiha (Sétif). L'analyse décadaire a été réalisée par le logiciel CROPWAT version 8.0 (FAO, 2009). Les mesures obtenues de l'expérimentation ont été traitées aux logiciels CropStat 7.2.3. (2009), Statplus 2009.

Chapitre III

Résultats et Discussion

Chapitre III. Résultats et Discussion

1. Les caractéristiques climatiques au cours de l'expérimentation

1.1. Les températures et les précipitations

Au cours de la campagne expérimentale, la température minimale indique que les mois les plus froids sont janvier et février qui accusent les plus basses valeurs. En effet, les températures enregistrées varient de -2.3 °C à la seconde décade (d2) de janvier et en février -3.9 °C (d1) à -4.9 (d2) (Figure 17). Les plus fortes températures maximales sont repérées à partir de la première décade de mai et atteignent le maximum à la seconde décade avec 27.1°C (Figure 17). Cependant, la valeur absolue maximale 36.6 °C est relevée à la troisième décade de juin. Ces valeurs démontrent l'effet des fortes températures en arrière cycle de la culture des céréales et ses impacts sur le remplissage du grain dans les conditions des Hauts Plateaux Sétifiens. Baldy (1986) abordent les effets du climat méditerranéen sur la croissance, le développement et le rendement agronomique des blés. Il indique que le rythme de développement des blés est affecté sous l'effet des températures élevées. Après floraison, les températures supérieures à 30°C à la surface des épis sont néfastes pour le stockage des assimilas et la qualité des grains (Baldy, 1986).

La variation saisonnière des précipitations est très marquée au cours de la campagne agricole 2011/2012. De septembre à juin, le cumul des précipitations est de 328.6 mm. La répartition saisonnière révèle que 18.3% (60.1 mm) sont enregistrés en période automnale, 37.7 % (124 mm) en période hivernale et 36% (118.2 mm) ont caractérisé le printemps et début été. Ainsi, le mois d'avril avec un cumul de 83.2 mm est le plus pluvieux. Par contre septembre est le mois le plus sec (Figure 17). Au cours de cette expérimentation, la culture de blé tendre a reçu 212.2 mm. Ces valeurs de précipitations sont considérées faibles. Baldy (1986) considèrent que l'altitude et la continentalité sont les particularités locales qui expliquent la faible pluviosité. L'auteur souligne l'importance du choix de cultivars adaptés qui succèdent à un choix préalable de technique et de successions culturales.

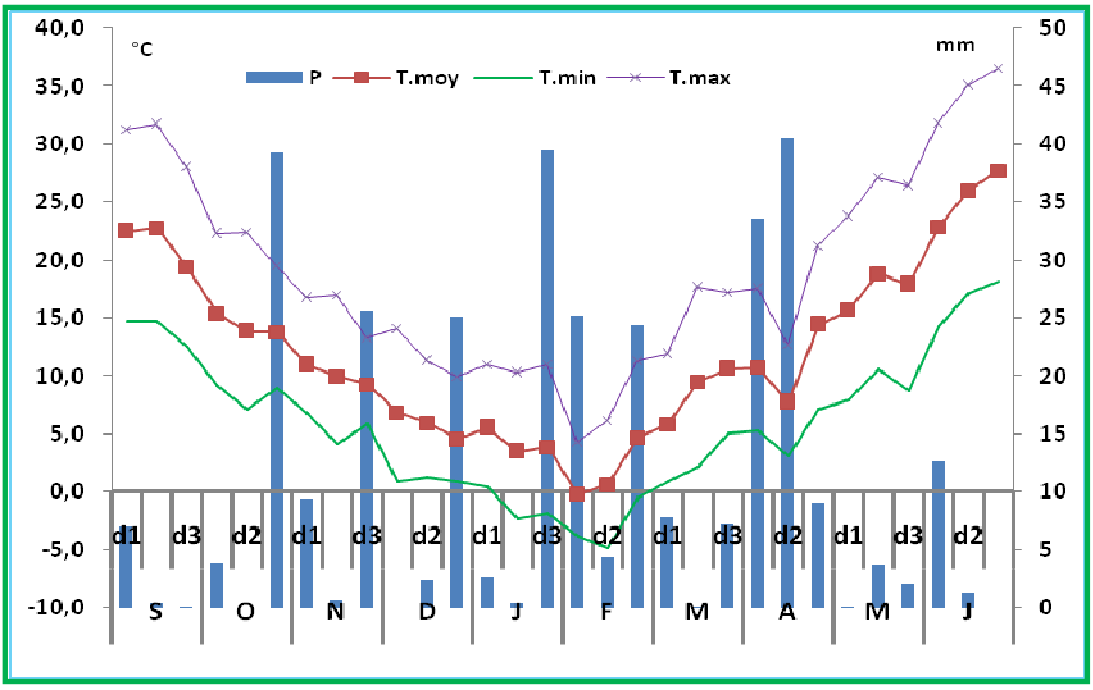


Figure 17. Variations décadaires de la température maximale, minimale et moyenne et Précipitations enregistrées

1.2. La demande climatique

La demande climatique est définie par l'évapotranspiration potentielle ou évapotranspiration de référence notée ET0. Lecarpentier (1975) évalue l'ETP comme une donnée réelle et non théorique ou abstraite. A cet effet, elle traduit le régime hydrique physiologiquement optimal de la végétation. Le potentiel d'évaporation de l'air au cours de l'expérimentation varie d'une saison à une autre. En effet, la période automnale se caractérise par 3.3 mmj^{-1} (99.0mm$mois^{-1}$), la saison hivernale avec 1.3 mmj^{-1} (39.0 mm $mois^{-1}$), le printemps 3.0 mmj^{-1} (90.0$mois^{-1}$). Les phases d'épiaison et de remplissage du grain coïncident avec une demande climatique forte, variant de 5.0 mmj^{-1} en mai à 7.0 mmj^{-1} en juin (Tableau 2). Dans le système d'exploitation agricole pluvial méditerranéen, le cycle végétatif de la céréale est confronté à un hiver frais et pluvieux et la formation des grains coïncide avec les fortes températures et les déficits de pression de vapeur et la rareté des précipitations (Turner, 2004; Chennafi, 2012).

Tableau 2. Valeurs de la l'évapotranspiration de référence (ET0, mmj^{-1}) Estimée par CROPWAT

Mois	T. Min °C	T. Max °C	H% %	Vent km j^{-1}	ETo mmj^{-1}
S	14.0	30.3	54	275	5.1
O	8.4	21.4	68	267	3.0
N	5.6	15.6	78	315	2.0
D	1.0	11.8	82	254	1.2
J	-1.2	10.8	77	267	1.4
F	-2.5	8.7	82	310	1.2
M	2.7	15.6	70	283	2.3
A	5.1	17.2	77	0	2.0
M	9.1	25.8	60	284	5.0
J	16.5	34.5	45	298	7.0

Les besoins en eau de la variété de blé tendre sont estimés à 17.1 mm à la troisième décade de mars et à 24.0 mm (d3, avril) (Tableau 3, Figure 18). Les exigences en eau de la culture se démarquent dès le mois de Mars au cours de l'activité de la plante. Cependant, la culture requiert plus d'eau en période d'épiaison et en arrière saison. En effet, la demande en eau s'élève à 68.5 mm à la troisième décade de mai pour atteindre 78,0 mm dès le début de juin (Tableau 3, Figure 18). Pour réaliser sa croissance et son développement, les besoins en eau de la culture de blé, étalés entre la troisième décade de février (période de tallage) à la première décade de Juin (période de remplissage du grain) sont de 332.0 mm (Tableau 3).En conditions pluviales semi-arides, Oweis et *al*., (2000) mentionnent dans le cas du blé des résultats similaires. Cependant, cette consommation dépend des caractéristiques climatiques de la campagne agricole qui fait varier la durée du cycle végétatif de la culture. En effet, les besoins en eau au cours du cycle du blé sont estimés entre 450 à 650 mm (Baldy, 1974; Chennafi et *al.*, 2008; FAO, 2012). La consommation journalière moyenne du blé au cours de l'expérimentation est considérée de 3.1mm. Ce résultat est similaire à la moyenne de 23 campagnes (Chennafi, 2012) et à celui de Poirée et Ollier (1981).

La précipitation efficace ou effective représente la part des précipitations qui contribue à satisfaire les besoins en eau de la culture (FAO, 1979). Elle est considérée comme la fraction des précipitations qui reconstitue la réserve en eau utilisable du sol pour les plantes cultivées.

Les résultats indiquent que les précipitations effectives au cours du cycle de la plante sont estimées à 186.1 mm. Dès la première décade de Mars, des apports d'eau sont recommandés, ils sont évalués à 253.0 mm de la première décade de Mai à celle de Juin (Tableau 3).

Tableau 3. Les besoins en eau de la culture du blé au cours de l'expérimentation

Mois	Dec.	Kc	ETc Mmj^{-1}	ETc $mmdec^{-1}$	P.eff mm/dec^{-1}	BEI $mmdec^{-1}$
J	d1	0.30	0.39	0.8	2.4	0.8
J	d2	0.30	0.40	4.0	13.4	0.0
J	d3	0.30	0.39	4.3	14.4	0.0
F	d1	0.31	0.36	3.6	16.7	0.0
F	d2	0.37	0.41	4.1	18.5	0.0
F	d3	0.45	0.67	5.4	14.0	0.0
M	d1	0.52	1.05	10.5	5.9	4.6
M	d2	0.61	1.46	14.6	0.6	14.0
M	d3	0.70	1.55	17.1	8.4	8.7
A	d1	0.79	1.44	14.4	21.6	0.0
A	d2	0.87	1.38	13.8	29.9	0.0
A	d3	0.95	2.40	24.0	20.6	3.5
M	d1	1.04	3.68	36.8	5.0	31.8
M	d2	1.12	4.91	49.1	0.0	49.1
M	d3	1.21	6.23	68.5	1.0	67.6
J	d1	1.30	7.77	77.7	4.4	73.4
J	d2	1.38	9.39	93.9	5.6	88.3
J	d3	1.46	10.36	103.6	3.7	99.9

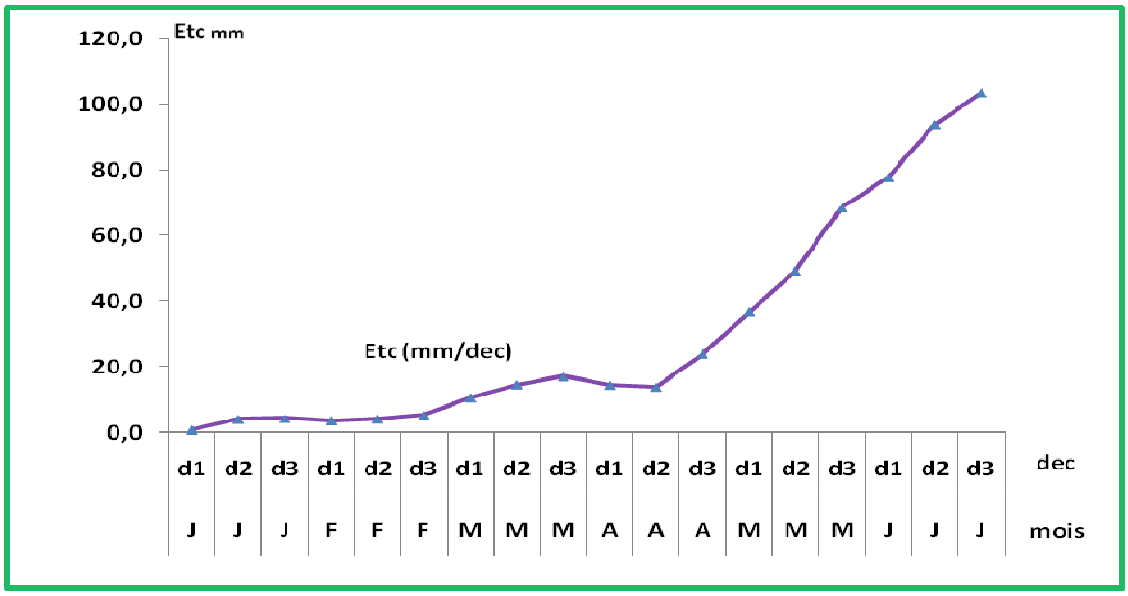


Figure 18. Variation décadaire de la demande en eau (ETC, mm) de la culture de blé

2. Les paramètres liés au sol

2.1. Caractéristiques physiques

2.1.1. La texture

La texture du sol est déterminée en classant les teneurs des particules d'argile, de limons et de sables selon le triangle des textures. Ainsi, les couches de 0-20 cm et de 10-20 cm sont de texture limono argileuse et celle de 20-30 cm est argilo limoneuse (Tableau 4)

Tableau 4. Caractérisation physico-chimique du sol sur 30 cm de profondeur

Particules	**Profondeurs (cm)**		
	0-10	**10-20**	**20-30**
Argile (%)	32	32	40
Limon (%)	40	36	28
Sable (%)	28	32	32

2.1.2. La densité apparente (da) du sol

L'analyse de la variance indique que l'effet modes de labour du sol est significatif pour la masse volumique du sol. Ce résultat révèle la grande variabilité de la masse volumique sur sol soumis au labour conventionnel, minimum et en conditions de non perturbation du mode d'agencement des particules du sol (Tableau 5).

En agriculture, la densité apparente du sol est un indicateur d'appréciation de la porosité et de la structuration du sol. Ces paramètres gouvernent le mode de circulation de l'oxygène et de l'eau (Grosman et Reinsch, 2002). En revanche, elle renseigne sur le niveau de structuration du sol et de porosité, assurant ainsi le contrôle de la variation hydrodynamique du sol et par conséquent l'évolution du développement racinaire des plantes. Abdellaoui et *al.*, (2010) considèrent que la densité apparente constitue un indicateur de qualité qui varie avec les techniques culturales. Au cours la campagne 2011/2012, ce paramètre a été mesuré 112 JAS (29/04/2012), au stade de fin montaison.

L'analyse de la comparaison des moyennes de la densité apparente du sol sous modes contrastés de labour du sol révèlent que le travail conventionnel (TC) et le labour minimum (TM) se caractérisent respectivement par 1.31 gcm^{-3} et 1.26 gcm^{-3}, ils appartiennent au même groupe. Par contre, le sol en semis direct se distingue par une valeur de 1.5 gcm^{-3} (Figure 19).

Tableau 5. Carré moyen des écarts de l'analyse de la variance de la densité apparente (da) du sol soumis au labour classique et de conservation

Source de variation	ddl	da
Var.totale	8	0.013
V.mod.lab	2	0.047**
Var. résiduelle	6	0.0017

** = Effet significatif au seuil de 1%

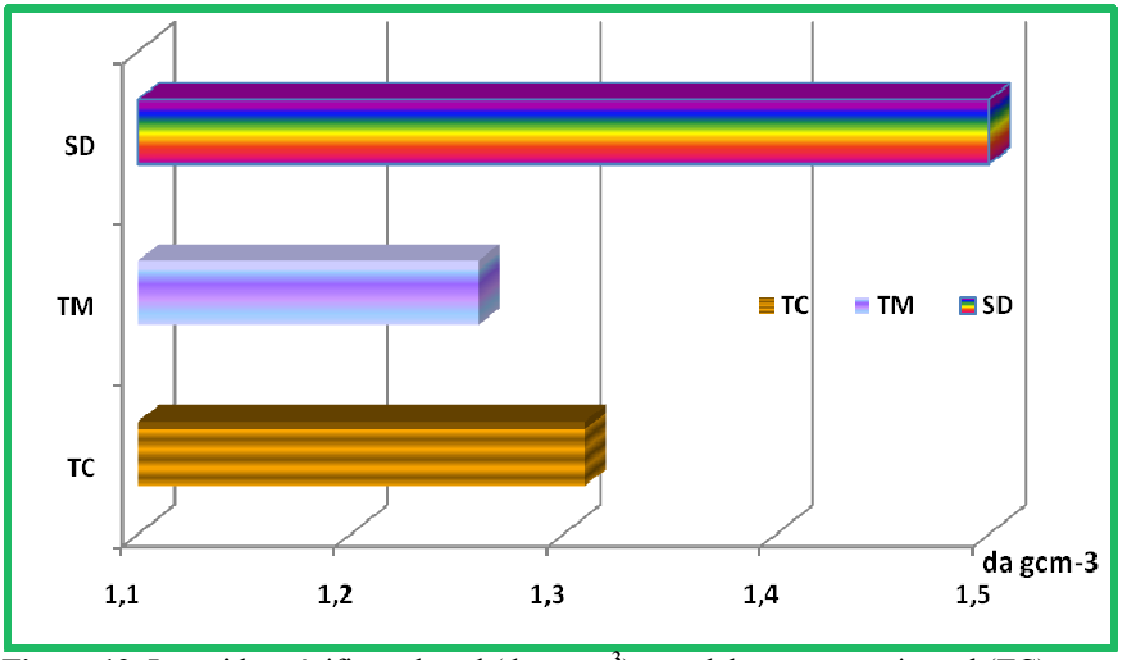


Figure 19. Le poids spécifique du sol (da, gcm^{-3}) sous labour conventionnel (TC), minimum (TM) et en semis direct (SD)

Les techniques d'ameublissement réalisées sur le sol aux technique simplifiées (TM)) et au labour traditionnel (TC) sont le résultat d'une valeur de la densité apparente plus réduite. En semis direct, le poids de l'échantillon de sol sur son volume apparent est plus important par suite de non perturbation du sol et donc l'absence de fragmentation des couches travaillées, déterminant ainsi un volume spécifique plus important. Ces résultats corroborent ceux de Dec et *al*., (2008). Ils sont similaires à ceux de Hannachi et *al.,* (2010) et de Touahria (2012) qui ont réalisé des travaux de recherches dans le même axe et dans les mêmes conditions de sols et de climat. Les résultats s'accordent avec ceux de Kay et Vanden Bygaart (2002) qui considèrent que les valeurs de la densité apparente sont supérieures sous l'effet des pratiques du semis direct relativement aux pratiques classiques du labour conventionnel. Perez De Ciriza Gainza (2004) notent une augmentation de la densité apparente en semis direct au

cours des premières années sur les dix premiers centimètres du sol comparativement aux pratiques simplifiées et labour conventionnel du sol. Par contre, l'augmentation de la densité apparente en semis direct est temporaire, expliquée par le fait que le compactage initial sera compensé plus tard par le développement des pores sous l'effet de l'activité biologique du sol (Bescansa et *al*., 2006).

2.1.3. La conductivité hydraulique

Les résultats de l'analyse de la variance révèlent un effet signification des modes contrastés du labour du sol pour la perméabilité du sol (Tableau 6). Par conséquent, la conductivité hydraulique indique que le mouvement de la circulation de l'eau diffère du sol en labour classique, de celui en labour minimum et du sol sans remaniement des particules.

La conductivité hydraulique varie de 1.2 x 10^{-3} cms^{-1} pour le sol en travail réduit (TM), 0.72 x 10^{-4} cms^{-1} pour le labour conventionnel (TC) et 5.0 x10^{-4} cms^{-1} en sol non perturbé (SD) (Figure 20). Ces valeurs classent le sol comme moyennement perméable à perméable (Ollier et Poirée, 1981). L'horizon de surface de ces sols est considéré limoneux à argileux (Mermoud, 2006). Les valeurs indiquent que le sol en labour réduit se distingue par une perméabilité supérieure, suivi du TC et SD. Une conductivité plus grande en sol en TM peut être le résultat de la présence des résidus de récolte en surface (15 cm) qui améliore la stabilité structurale et celle de la porosité qui favorise l'écoulement de l'eau.

Par contre, dans le cas du travail conventionnel, le sol est plus perturbé et les résidus des récoltes ont été incorporés au sol lors du labour. Donc, ils sont réduits ou même absents en surface du sol, déterminant une stabilité structurale plus faible rendant la surface du sol plus sensible à la dégradation. D'autre part, le labour conventionnel peut provoquer des compactions du sol. Résultat qui peut être lié et interprété à travers le volume spécifique des particules du sol. En effet, dans le cas du sol en labour conventionnel, la densité apparente est légèrement supérieure traduisant une réduction de l'espace porale du sol et donc la vitesse de circulation de l'eau. Par contre, Touahria (2012) trouve que le sol sous labour conventionnel se caractérise par une vitesse d'infiltration deux fois supérieure à celle du labour de conservation.

Tableau 6. Carré moyen des écarts de l'analyse de la variance de la perméabilité (k) du sol soumis au labour classique et de conservation

Source de variation	ddl	k
Var.totale	8	0.12×10^{-6}
V.mod.lab	2	0.38×10^{-6}**
Var. résiduelle	6	0.31×10^{-7}

** = Effet significatif au seuil de 1%

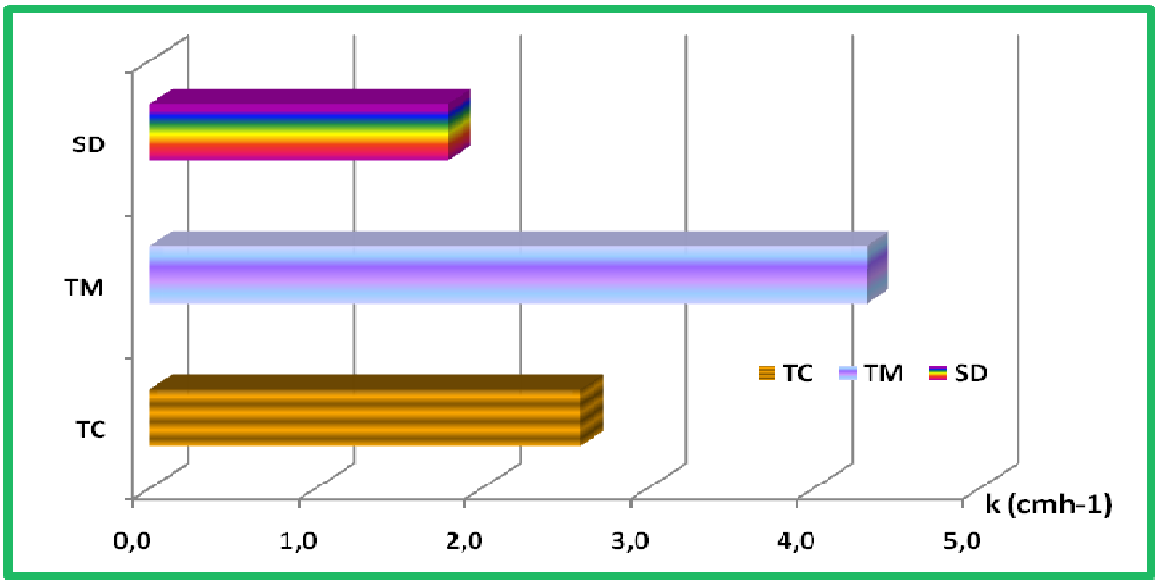


Figure 20. La conductivité hydraulique du sol (k, cmh^{-1}) sous labour conventionnel (TC), minimum (TM) et en semis direct

Toutefois, la conductivité hydraulique est examinée comme un des principaux paramètres de prédiction du mouvement de l'eau du sol (Salarashayeri et Siosemarde, 2012). En revanche, une valeur importante de la densité apparente signale un effet de compaction, relevant un espace porale limité pour la circulation de l'eau et même pour l'enracinement des cultures (Tsague, 2005). Ce comportement hydrique du sol se manifeste en état de sol non perturbé. En effet, sur sol en semis direct, la couverture végétale en surface n'a pas affecté la valeur de la conductivité hydraulique comparativement à la valeur de la perméabilité qui a caractérisé le sol en labour réduit et en conventionnel. Selon Carof (2006) l'augmentation de la densité apparente du sol des anciennes couches labourées fait que la porosité totale du sol est globalement réduite dans les systèmes de conservation. Ainsi, Kay et Vandenbygaart (2002) mentionnent que le non labour entraine généralement une diminution de la macroporosité. Cependant, le degré de variation de ces paramètres hydrodynamiques dépend des années de non labour du sol et de ses caractéristiques intrinsèques. En revanche, les

valeurs de la perméabilité du sol peuvent être supérieures, similaires ou inférieures comparativement à celles observées en sol non labouré (Strudley et *al*., 2008).

Les mesures de la perméabilité ont été effectuées in-situ à l'infiltromètre à mini disque. Une fois, son réservoir est rempli d'eau, le dispositif est déposé directement sur le sol. Le principe est d'apporter de l'eau à la surface du sol sous une succion contrôlée. L'infiltromètre à disque est un outil particulièrement bien adapté à la mesure de la conductivité hydraulique des sols au voisinage de la saturation, pour des potentiels de l'eau compris entre -25 et 0 cm de hauteur de colonne d'eau, soit -2,5 à 0 kpa. II permet d'explorer le fonctionnement hydrodynamique de la macroporosité des sols dans la gamme de diamètre de pore équivalent ou supérieurs à 0,12 mm (coquet et *al*., 2000). Les résultats obtenus sont portés sur la figure 21.

La perméabilité (K, cm s^{-1}) en fonction du mode de labour du sol est déterminée à partir des équations polynomiales suivantes:

$K(TM) = 0.007t^2+0.002t+0.047$
$K(TC) = 0.004t^2+0.072t-0.246$
$k(SD) = 0.002t^2+0.035t-0.0134$

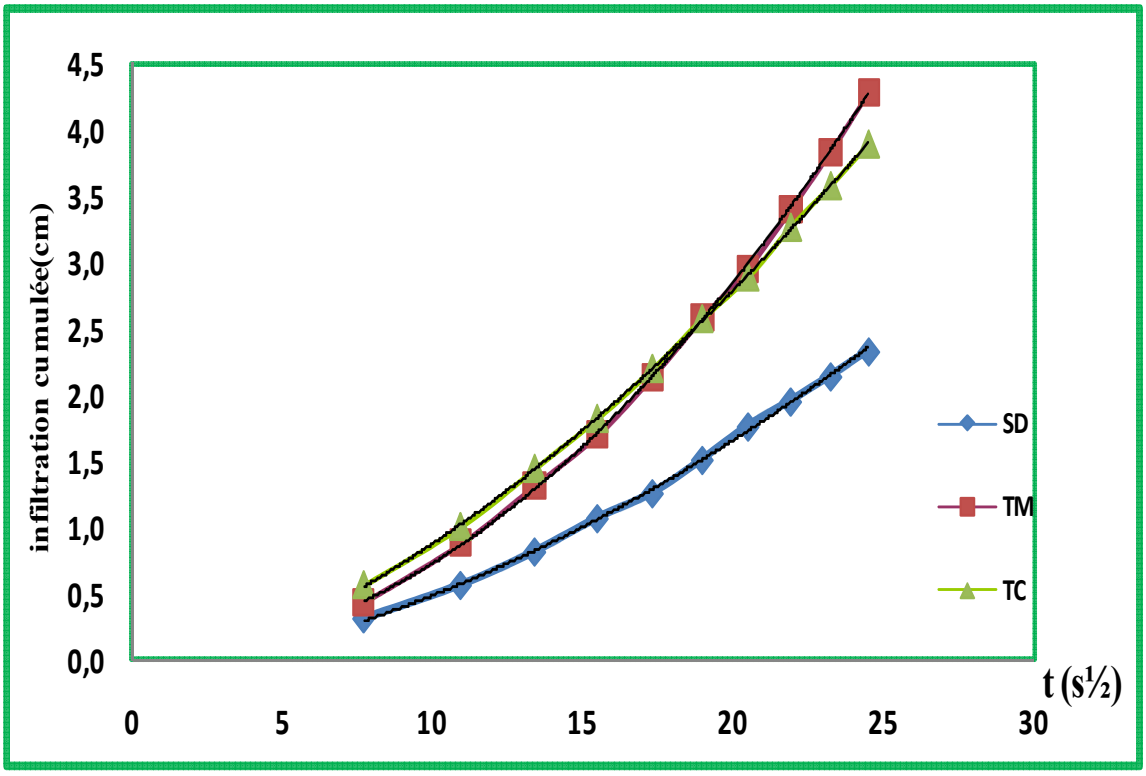


Figure 21. La cinétique du flux d'infiltration de l'eau en fonction du temps

2.2. Caractéristiques chimiques

2.2.1. La matière Organique

L'analyse de la variance pour le taux de matière organique indique un effet significatif du mode de labour du sol, de la profondeur du sol et de l'interaction du mode de travail du sol en fonction de la couche labourée (Tableau 7). En revanche, la teneur de la matière organique varie en fonction du système pratiqué de travail du sol, de la profondeur de la couche du sol. L'effet significatif de l'interaction est attribué à l'interférence produite à la fois par les modes de labour du sol et de la profondeur de la couche du sol qui influent sur la teneur en matière organique.

En fonction des systèmes de labour du sol, la moyenne de la teneur en matière organique varie de 1.63 % pour le sol en labour réduit (TM), 1.99% pour la technique classique (TC) à 2.31% en sol en semis direct (Figure 22). En conséquence, la technique du semis direct favorise la richesse du sol en matière organique. Toutefois, le sol soumis au système classique reste pauvre en matière organique, à moyen sous semis direct. Ce résultat corrobore nombreux travaux de recherches menées en environnement similaires (Mrabet, 2008; Kravchenko et Thelen, 2007). Metay et *al*., (2009) mentionnent que la réduction de la matière organique au niveau du sol est attribuée à sa mise en culture. Par contre, l'enrichissement du sol en matière organique est réalisé sous l'effet des apports qui se décomposent à une vitesse plus lente que le flux d'entrée (Metay et *al*., 2009). Ces sugestions expliquent largement la réponse du sol soumis au labour de conservation à stocker plus de matière organique comparativement au sol soumis à une intensive perturbation au moment du labour suivi de sa mise en culture.

Tableau 7. Carré moyen des écarts de l'analyse de la variance de la variation du taux de matière organique sur les 30 cm du sol soumis au labour classique et de conservation. Source

de variation	ddl	MO
Var.totale	26	0.25
V.mod.lab	2	1.04**
Var. prof	2	1.26**
V.mod.lab x prof	4	0.24*
Var. résiduelle	16	0.06

*, ** = Effets significatif au seuil de 5% et 1% respectivement.

Selon la profondeur du sol labour, le taux de matière organique prend les valeurs de 2.30% sur la première couche de 0-5cm; la seconde couche du sol 5-15cm se caractérise par une valeur de 2.05% et atteint une teneur plus faible de 1.75 % sur 15-30cm.

L'interaction mode labour du sol x profondeur indique que la répartition du taux de matière organique sur les profondeurs du sol varie en fonction des techniques de labour du sol (Figure 22). Le taux de matière organique du sol est plus appréciable en conditions de non labour du sol et sur les couches du sol, expliqué par le non remaniements des particules du sol. Il semble que la matière organique est plus présente sur la couche superficielle du sol que sur les couches sous-jacentes (Figure 22).

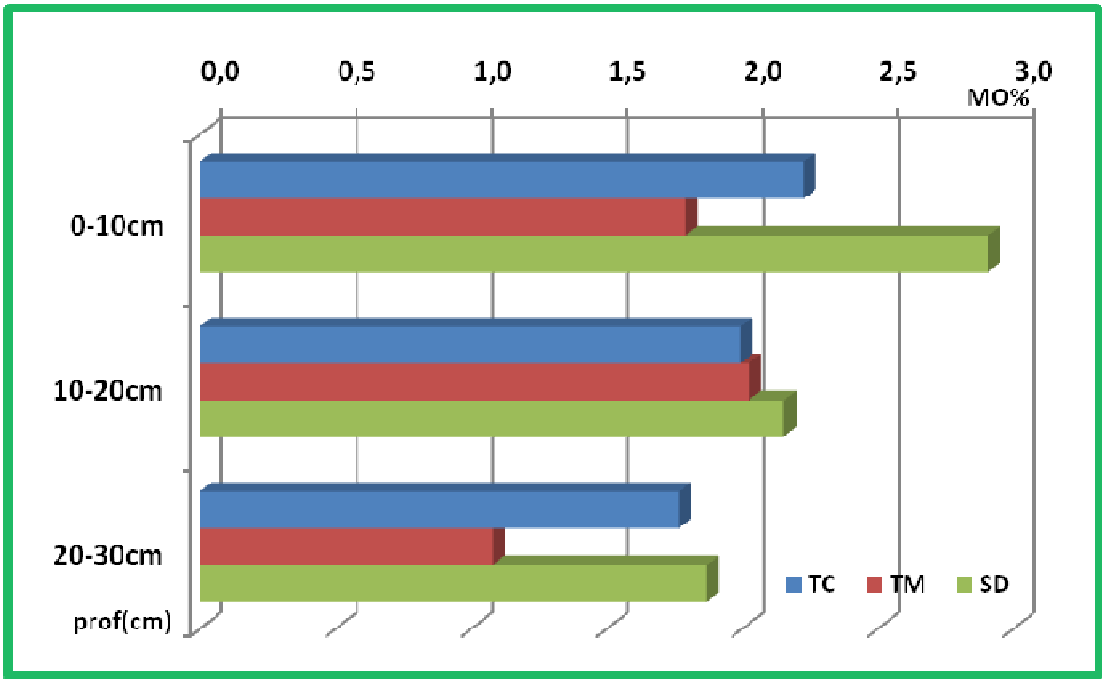


Figure 22. Variation de la teneur en matière organique sur 0-10 cm à 30 cm sur sol soumis au labour conventionnel et de conservation

Toutefois, sur sol en labour réduit (TM), la matière organique est moins conséquente sur la troisième couche du sol comparativement à TC et SD. La technique de non labour réduit la minéralisation rapide de la matière organique sur sol mis en culture. Kravchenko et Thelen (2007) considèrent que la quantité de matière organique du sol peut être altérée par les pratiques utilisées. La variation du niveau de matière organique en fonction des profondeurs soumises à des systèmes contrastés de travail du sol semblent logiques. En effet, le semis directe ou le non retournement du sol favorise l'accumulation des débris et des résidus de la culture précédente ce qui offre un milieu favorable à l'activité biologique qui assurent la dégradation de la matière organique en humus. Ces particules colloïdales agencent les

particules du sol et augmentent sa résistance à l'effet de l'érosion hydrique et éolienne. Holland (2004) rappelle le rôle de la matière organique issue des résidus de culture, elle s'accumule en surface du sol et joue un rôle très important dans la protection de la surface du sol, la stabilisation de la structure, la rétention de l'eau et des éléments minéraux et sert d'abri et de nourriture aux organismes du sol.

2.2.2. Calcaire total et bases échangeables

Les teneurs en carbonate de calcium $CaCO_3$ du sol révèlent une forte concentration avec une augmentation en profondeur, mettant en évidence un gradient de décarbonatation (Tableau 8). Baize (1997) mentionnent des caractères similaires en milieu méditerranéen. Le sol sur lequel a été conduite la variété de blé tendre est fortement calcaire. Les teneurs en $CaCO_3$ varient de 28.0% pour la couche superficielle à plus de 50.0% sur 20-30cm (Tableau 8). Le pH est basique, prenant des valeurs de 7,7 à 7,9.

Les éléments assimilables par la plante ont concerné le potassium (K), le magnésium (Mg), le sodium (Na), et le phosphore (P). Ils sont présentés en ppm (mgl^{-1}) ou mg élément nutritif kg^{-1} de terre (Tableau 8). Ils sont exprimés en kilogrammes à l'hectare ($kgha^{-1}$) sur l'épaisseur correspondante. En moyenne sur la tranche de 30 cm, le potassium est estimé à 1524.9 $kgha^{-1}$ et le phosphore 101.1 $kgha^{-1}$. Cependant, la teneur des bases échangeables est de 897 (Na, $kgha^{-1}$) pour le sodium et 492.0 pour le Magnésium (Mg, $kgha^{-1}$). Les teneurs en potassium et en magnésium échangeables sont notables. Les valeurs de magnésium sont supérieures à 200 $kgha^{-1}$ et ceux du potassium sont supérieures à 500 $kgha^{-1}$ et donc, le risque de carence est écarté (Well et Duval, 2009). Le gradient relatif à la richesse des couches en phosphore décroit en profondeur et varie de 32ppm sur les 10 premiers cm et se réduit à 18.7 ppm sur 20-30 cm. Ces seuils indiquent un gradient variant de couche riche, moyenne à pauvre en phosphore assimilable. Ce résultat peut être justifié parle gradient de décarbonation (Tableau 8).

Tableau 8. Caractérisation chimique du sol sur 30 cm de profondeur

Analyse	**Profondeurs (cm)**		
	0-10	**10-20**	**20-30**
Calcaire total (%)	28.0	50,2	50,5
pH	7,7	7,8	7,9
K (ppm)	247,3	328,6	344,3
P (ppm)	32,0	27,2	18,7
Na (m é/100g)	0,7	0,6	0,7
Mg (m é/100g)	4,6	5,7	4,8

3. La variation de l'eau disponible au cours du cycle de la culture

L'analyse de la variance indique que le niveau d'humidité du sol varie en fonction du stade végétatif (jours après semis, JAS) de prélèvement, du mode de labour, de la profondeur et de l'interaction JAS x prof. Cependant, l'effet de l'interaction JAS x mode labour, mode labour x prof et JAS x prof x mode labour est non significatif (Tableau 9).

Au cours du cycle de la culture, l'humidité du sol disponible au niveau de la rhizosphère dépend de la date de prélèvement, déterminant une variation de la quantité d'eau disponible d'un stade végétatif à un autre (Figure 23). En effet, du stade de la levée au stade de la montaison, la quantité de l'eau disponible (ED, mm) varie de 23.0 à 30.0 mm. Cependant dès la seconde décade d'Avril, l'eau disponible pour la plante décroit. Dès le début de Mai, la réserve en eau tend vers zéro laissant l'arrière cycle de la plante complètement stressé. Cet état hydrique se répercute en conséquence sur l'élaboration du rendement et ses composantes, affectant au préalable tous les organes de la plante. Des résultats similaires sont relevés dans de nombreuses investigations (Schuppler et *al.,* 1998*;* Gregory et *al.*, 2000; Blum, 2005; Lugojan et Ciulca, 2011; Chennafi, 2006; Chennafi, 2012). En conditions pluviales semi-arides, la précocité est suggérée comme une caractéristique pour l'augmentation du rendement du blé tendre (Asseng et *al*., 2003; Bouzerzour et *al.*, 2000).

Les techniques pratiquées pour le labour du sol influent sur la variabilité de la quantité d'eau disponible pour la plante. En effet, les résultats révèlent que la conduite sur sol non labouré préserve plus d'eau (Figure 24). Schillinger et *al*., (1999) observent des résultats similaires et concluent que le non labour du sol est plus efficient pour la conservation de l'eau du sol. Leur confirmation découle du fait que le système traditionnel dégrade la continuité des micropores du sol. De plus, il assèche la couche superficielle du sol. L'eau mise à la

disponibilité de la culture du blé est liée aux modes de labour du sol. Les résultats illustrent l'efficacité des techniques de conservation pour la préservation de plus d'eau dans le sol (Figure 24). Machado et *al*., (2008) publient des informations similaires.

Tableau 9. Carré moyen des écarts de l'analyse de la variance de la variation de l'eau disponible pour la plante sur 40 cm du sol soumis au labour classique et de conservation

Source de variation	ddl	humidité
Var.totale	213	2685075
Date	7	855.014**
Lab	2	3.998*
Prof	2	28.82**
Date x lab	14	1.286^{ns}
Date x Prof	14	9.268**
Lab x pro	4	0.406 ^{ns}
Date x Prof x lab	28	1.541 ^{ns}
Var. résiduelle	16	0.056

*, ** = Effets significatif au seuil de 5% et 1% respectivement

En fonction de la profondeur du sol, il apparait que la quantité d'eau moyenne disponible pour la plante est plus conséquente sur 0-20cm que sur la couche sous jacente (Figure 25). Machado et *al*., (2008) mentionnent des résultats similaires. L'interaction JAS x prof. significative indique que l'eau disponible pour la plante à un stade végétatif donné est liée à la profondeur de la couche du sol (Figure 25). La variation du stock d'eau sous l'effet de l'interaction JAS x mode de labour, mode de labour x prof., et JAS x prof. x mode de labour, est inappréciable (Figures 27, 28 et 29). En revanche, l'eau disponible au niveau des couches du sol, à chaque stade végétatif ne varie pas d'une manière significative sous l'effet du système de labour du sol.

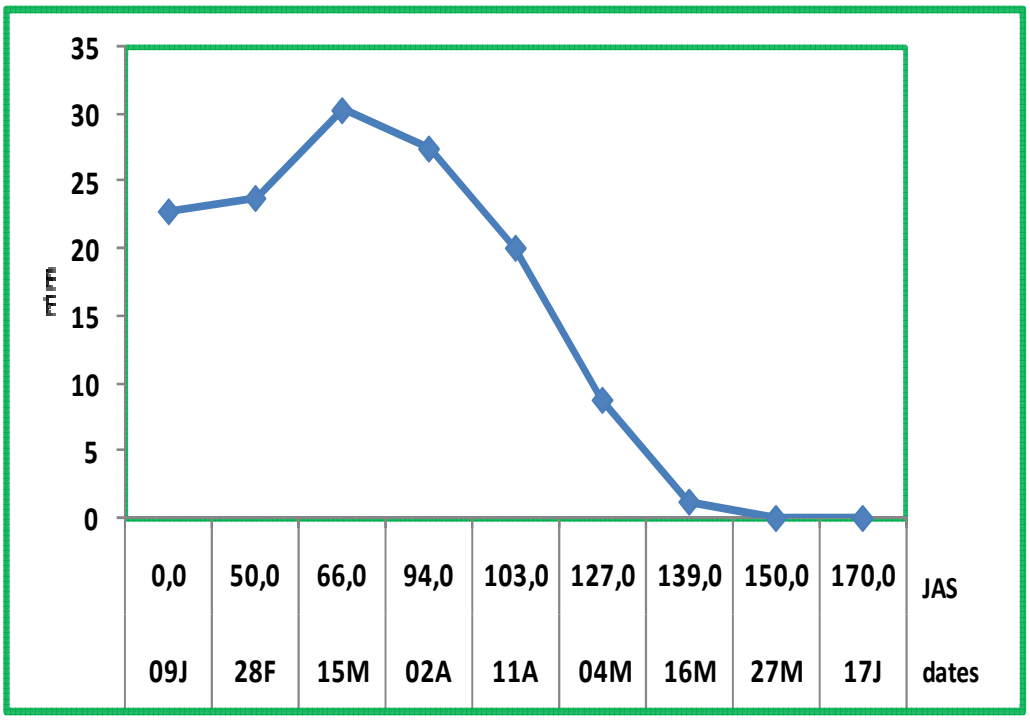


Figure 23 Variation de l'eau disponible (ED, mm) selon les stades végétatifs du blé conduit sur sol en labour conventionnel et de conservation

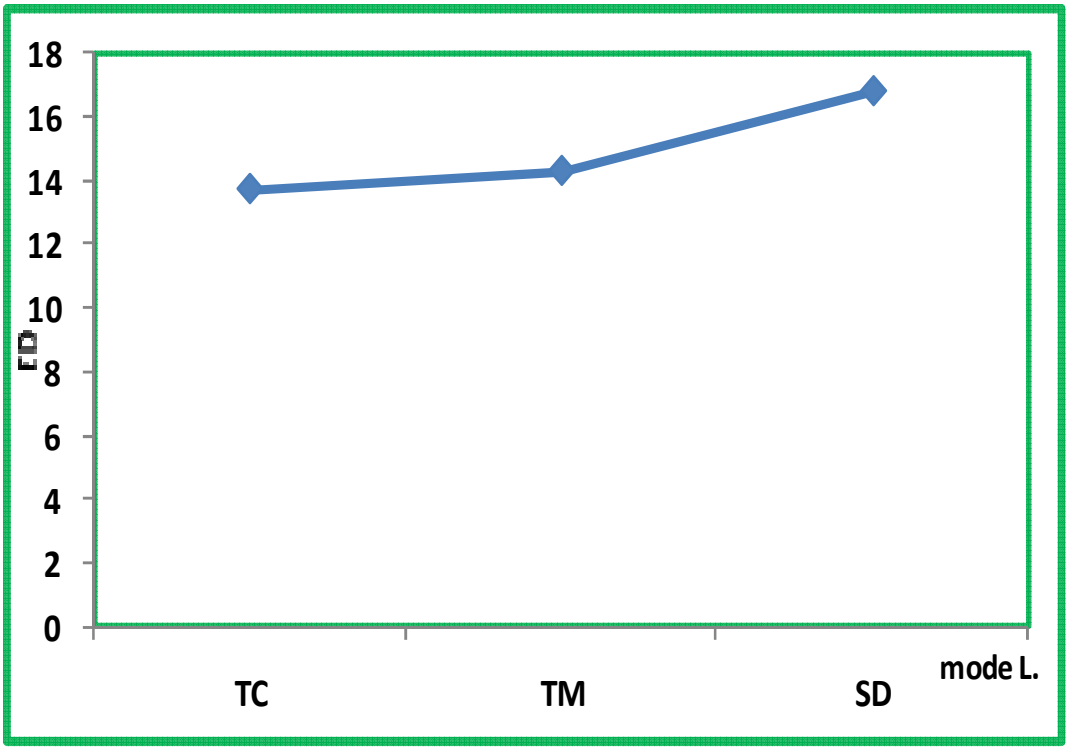


Figure 24. Variation moyenne de l'eau disponible pour le blé en fonction des modes de labour du sol

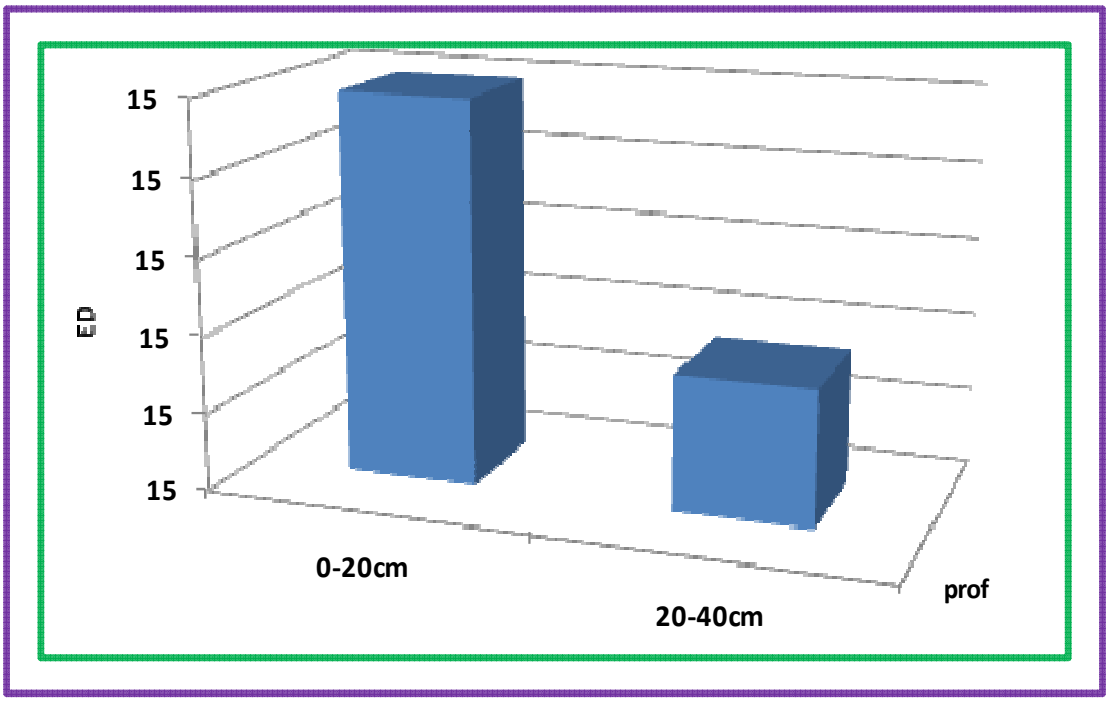


Figure 25. Variation moyenne de l'eau disponible (ED, mm) en fonction de la profondeur du sol

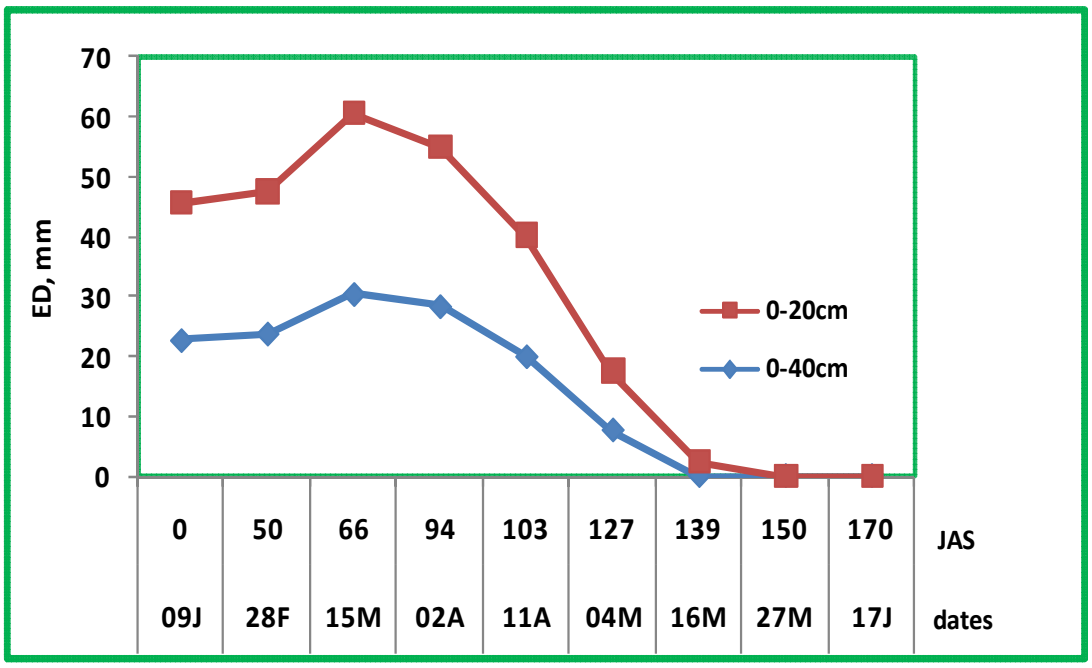


Figure 26. Variation moyenne de l'eau disponible (ED, mm) sur les profondeurs de 0-20 et 20-40 cm du sol soumis au labour conventionnel et de conservation

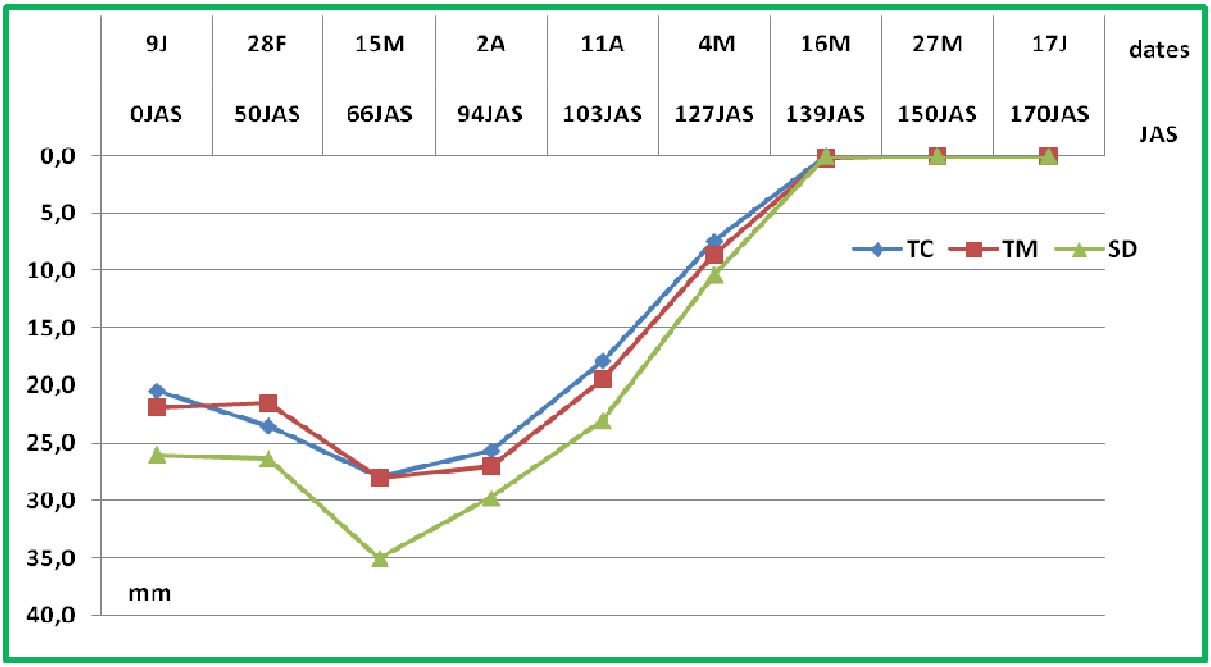


Figure 27. Variation moyenne de l'eau disponible (ED, mm) au stade végétatif de la plante en fonction du système de labour du sol sur sol en labours contrastés

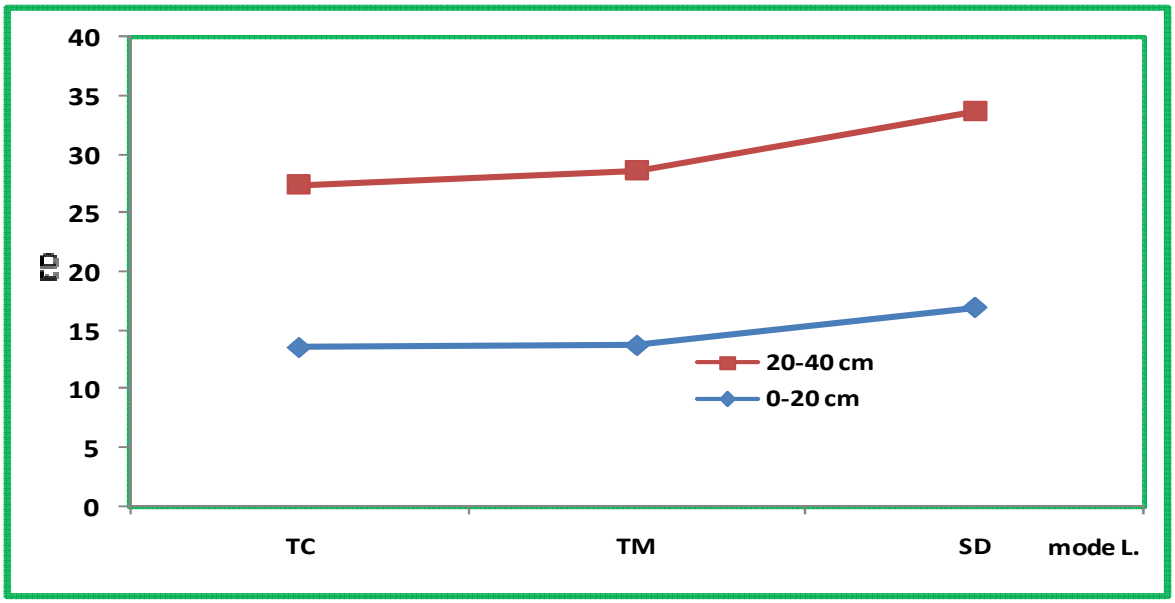


Figure 28. Variation moyenne de l'eau disponible (ED, mm) liée à la profondeur en fonction sous modes contrastés de labour du sol

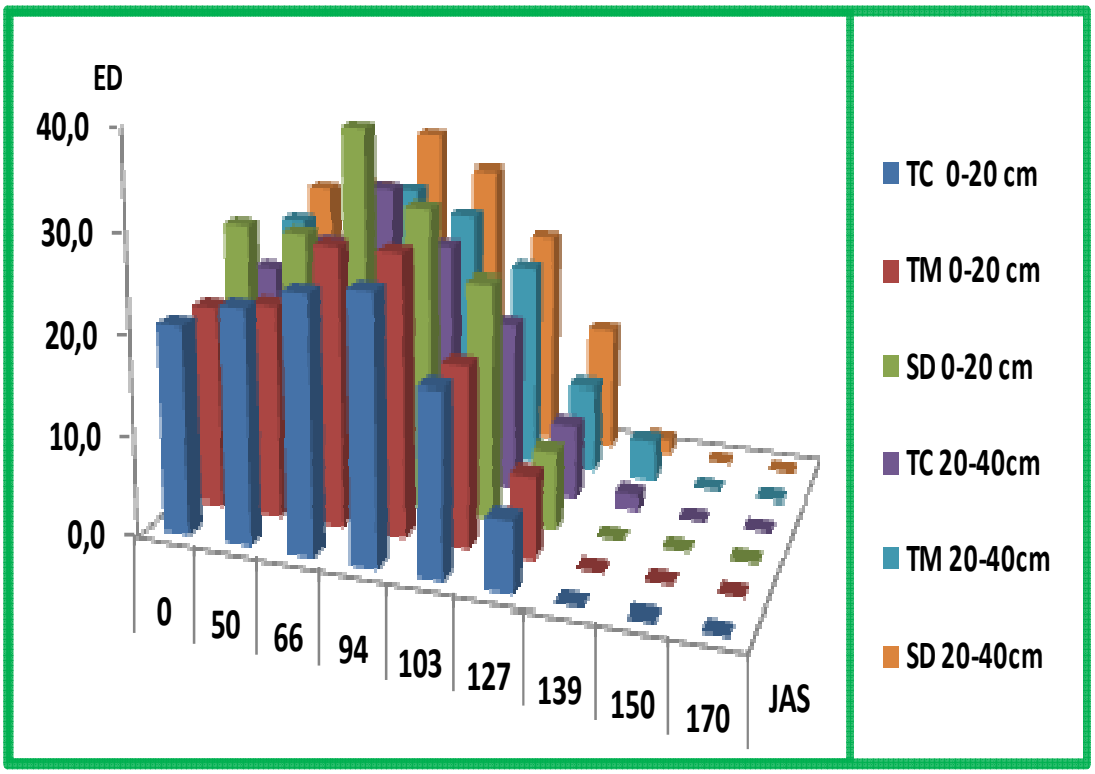


Figure 29. Variation moyenne de l'eau disponible (ED, mm) au stade de prélèvement et sur la profondeur soumise aux modes de labour du sol

4. Les mesures réalisées sur la variété au cours du cycle de développement

4.1. La durée des phases (JAS) de développement de la culture du blé

Les valeurs portant sur la durée du cycle végétatif de la variété cultivée sous labour traditionnel et de conservation diffèrent d'un mode à un autre. En effet, la durée de réalisation de chaque phase végétative semble différente d'une phase à une autre (Figure 30). Cependant, les durées du cycle du cultivar étudié apparaissent similaires lorsqu'il est conduit sur sol en TC ou en TM. Elles sont de 147 jours (TC) et de 148 jours (TM). Cependant, lorsque la variété est conduite en semis direct, sur sol non perturbée, le cycle est plus tardif (Figure 30). En effet, au stade de la levée, la variété prend 4 jours d'avance. Au stade de l'épiaison, elle se démarque d'un retard de 5 jours. Ces notations de repérages des stades révèlent que la levée coïncide avec les basses températures et donc la plante est exposée aux risques des gelées hivernales. D'autre part, en période d'épiaison, elle accumule un retard qui se répercute sur l'arrière cycle sous les effets de fortes températures et du manque d'eau qui réduisent l'expression des composantes du rendement. Unger (1988) souligne que la variabilité de la réponse de la culture céréalière aux pratiques de labours est liée à la différence de températures et au contenu en eau du sol.

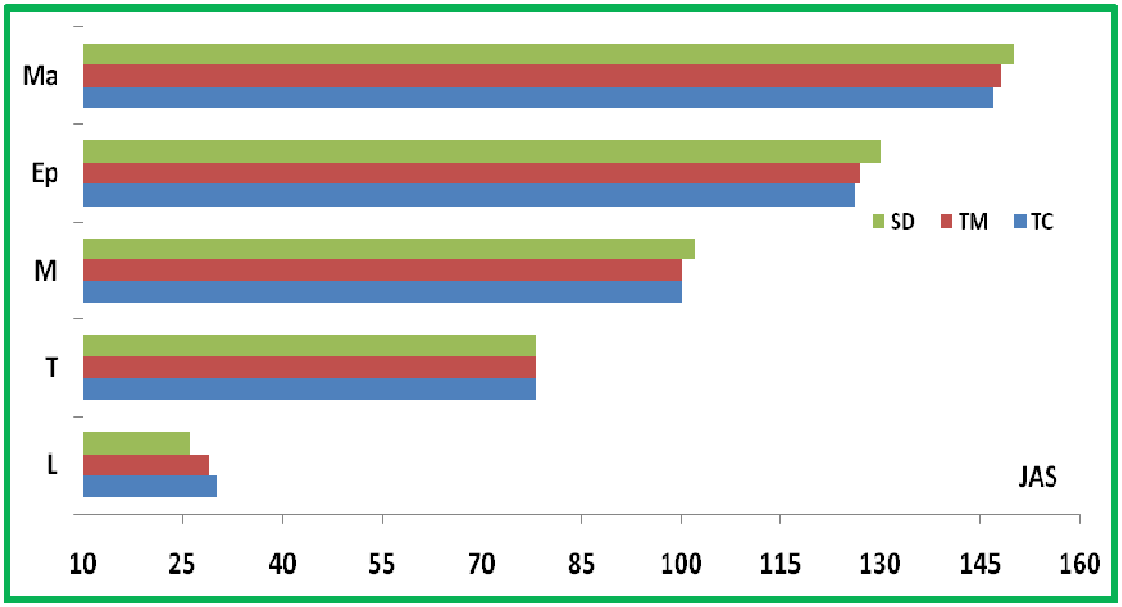


Figure 30. Durée (JAS) des phases végétatives chez la variété EL WIFAK conduite sur sol en labour traditionnel et de conservation

L=Levée, T= tallage, M=montaison, E=épiaison et M=Maturité

4.2. Le statut hydrique de la plante

4.2.1. L'intégrité cellulaire

L'analyse de la variance indique que l'intégrité cellulaire (IC, %) chez le cultivar de blé tendre est significativement affectée sous modes contrastés de labours du sol (Tableau 10).

Tableau 10. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance de l'intégrité cellulaire (IC%) de la culture de blé tendre conduite en labour classique et de conservation

Source de Variation	ddl	CME
Bloc	2	1.37^{ns}
Modes Lab.	2	183.37*
Résidus	4	14.61

ns, *, ** = effet non significatif et significatif au seuil de 5 et 1%, respectivement.

En effet, sous conduite de non labour du sol, IC est de 46.1 %, par contre elle se réduit à 35.6% en labour réduit et 32.2% sous labour classique. La proportion de cellules détériorées sous l'effet du déficit en eau est évaluée par l'indice de l'IC. Il est exprimé en pourcentage du rapport de la conductivité électrique initiale(CE_1) mesurée au moment du prélèvement des feuilles à celle (CE_2) après son exposition à 100°C. En revanche, une IC% plus élevée traduit une (CE_1) plus forte, énonçant un effet stress préalable sur les cellules. Les résultats trahissent

ainsi un gradient de stress hydrique croissant TC< TM< SD (Figure 31). Les résultats expriment un degré de stress hydrique plus sévère localisé en conduite de non labour. Des résultats similaires ont été mentionnés (Hannachi et Fellahi, 2010).

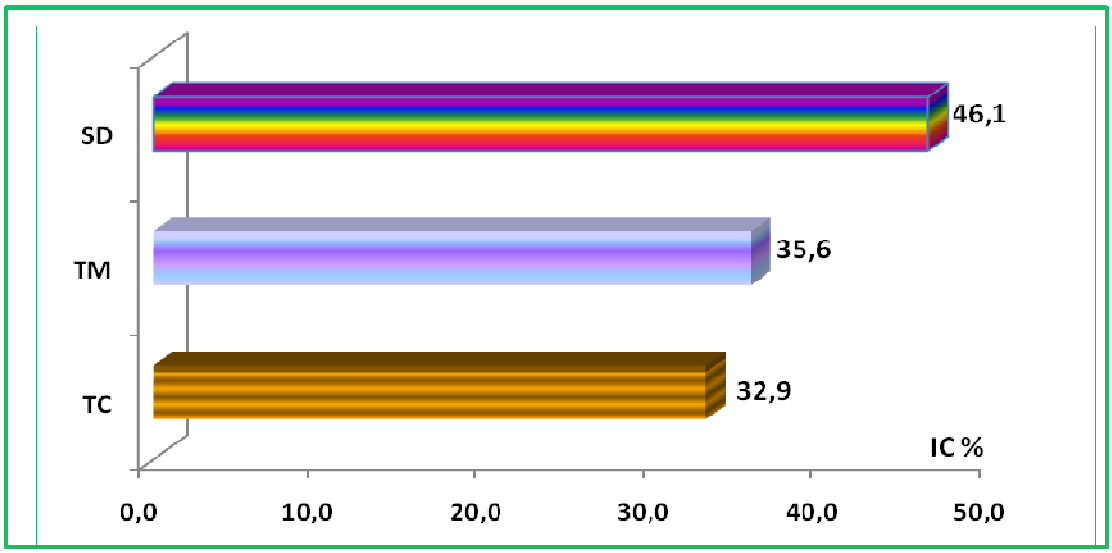


Figure 31. L'intégrité cellulaire (IC, %) chez le blé tendre sous labours classique et de conservation

4.2.2. La teneur relative en eau

L'analyse de la variance reflète un effet significatif de la teneur relative en eau (TRE, %) des feuilles sous l'action du mode de labour du sol, date de prélèvement et de l'interaction mode de labour x dates (Tableau 11). Les valeurs moyennes de la TRE varient en fonction des pratiques du labour. Le comportement de la variété conduite en labour de conservation est mesuré par une TRE moyenne de 62.3% et en labour traditionnel 57.9%. La teneur relative en eau est liée aussi à la phase végétative de la culture exprimée en jours après semis. En arrière cycle, les valeurs sont de 71.0% au 128 JAS, 66.3% au 135 JAS et au 142 JAS la teneur relative en eau tend vers 46.4%. Les différences des valeurs de TRE entre les dates sont expliquées principalement par le manque d'eau en arrière cycle coïncidant avec la période de Mai avec une précipitation réduite insignifiante.

L'interaction mode de labour x dates de prélèvement significative indique que l'expression, du statut hydrique de la plante caractérisé par la teneur relative en eau des feuilles à un stade donnée varie d'une manière appréciable sous l'effet des pratiques de labour. La teneur relative en eau décroît au cours du stade de remplissage du grain. Néanmoins, la conduite en labour classique semble plus efficiente en arrière cycle de la plante. En effet, les valeurs mesurées de

TRE indiquent que TC > TM > SD, exprimant que la plante est plus stressée en milieu non perturbé en arrière stade végétatif (Figure 32).

Tableau 11. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance de la teneur relative en eau (TRE) d'ELWIFAK conduite en labour classique et de conservation

Source de Variation	ddl	CME
Bloc	2	10.46^{ns}
Modes Lab	2	78.35*
JAS	2	1539.93**
JAS x Modes Lab	4	59.97*
Résidus	16	14.8

ns, *, ** = effet non significatif et significatif au seuil de 5 et 1%, respectivement.

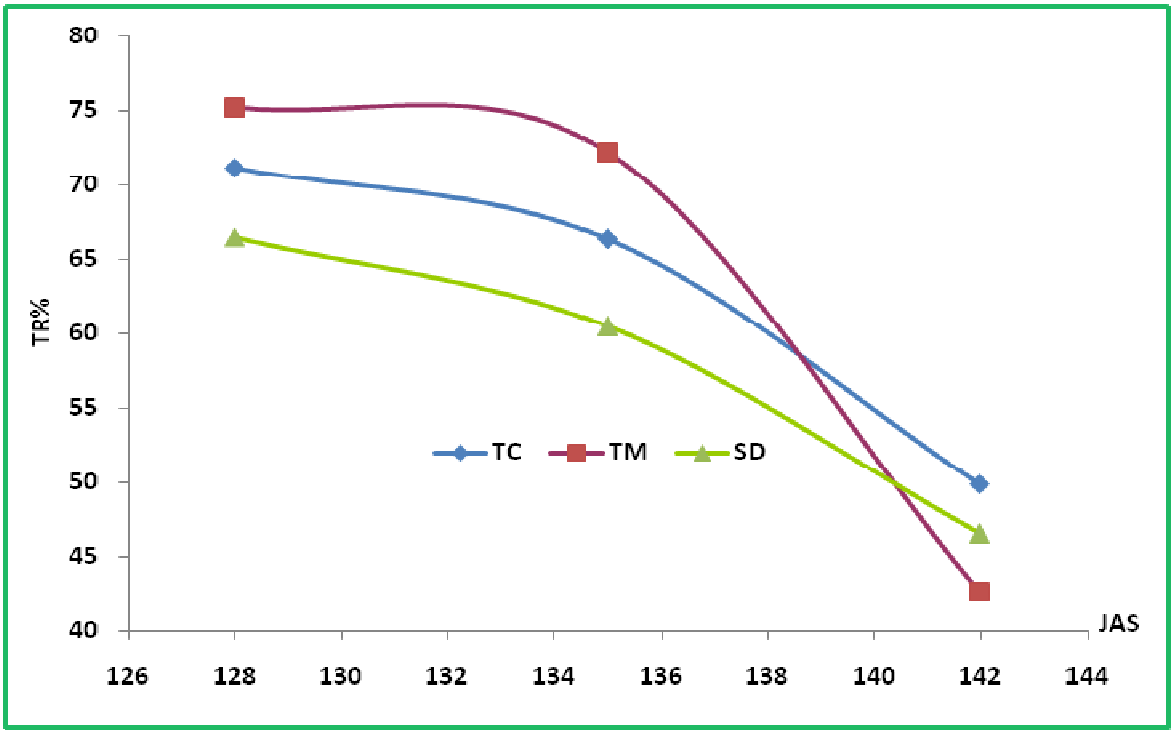


Figure 32. La teneur relative en eau (TRE, %) chez le blé tendre sous modes de labours classique et de conservation selon les stades végétatifs

L'approche explicative des résultats obtenus est fondée sur le fait que le comportement hydrique de la culture est fonction du stade végétatif et des pratiques culturales et coordonnées par le statut hydrique du sol et de l'atmosphère. Des interprétations similaires sur le comportement hydrique du blé ont été notées (Hannachi et Fellahi, 2010; Chennafi et Saci, 2012; Touahria, 2012).

4.2.3. L'indice foliaire

L'analyse de la variance indique un effet mode de travail du sol et stade végétatif significatif sur l'indice foliaire. Par contre, l'IF ne varie pas d'une manière significative sous l'action de l'effet de l'interaction stade végétatif x mode de labour (Tableau 12). L'IF prend les valeurs de 6.3 lorsque la culture du blé est conduite en labour classique, 5.4 sous sol en labour réduit et en condition de non labour 4.6. L'indice foliaire varie d'une manière significative d'un stade à un autre (Tableau 12). En effet, il prend les valeurs de 7.5 (70JAS), 8.9 (100JAS) et au stade de l'épiaison et de remplissage du grain, IF= 5.6.

L'interaction JAS x Mode Lab non significative ne traduit pas de variation de l'indice foliaire chez le blé tendre en fonction du JAS sous modes de labour classique et de conservation du sol. Cependant, cultivée sur sol non labouré, la variété de blé tendre se caractérise par de faibles valeurs relativement à la conduite en classique et en labour minimum (Figure 33). Des résultats similaires ont été révélés sur la durée de sècheresse de l'arrière cycle et son effet sur la réduction de l'indice foliaire (Dalirie et *al*., 2010; Liu et *al*., 2012).

Tableau 12. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance de l'indice foliaire D'ELWIFAK conduite en labour classique et de conservation

Source de Variation	ddl	CME
Bloc	2	1.37^{ns}
Mode Lab.	2	16.5**
JAS	6	105.4**
JAS x Mode Lab	12	2.0^{ns}
Résidus	40	0.9

ns, *, ** = effet non significatif et significatif au seuil de 5 et 1%, respectivement.

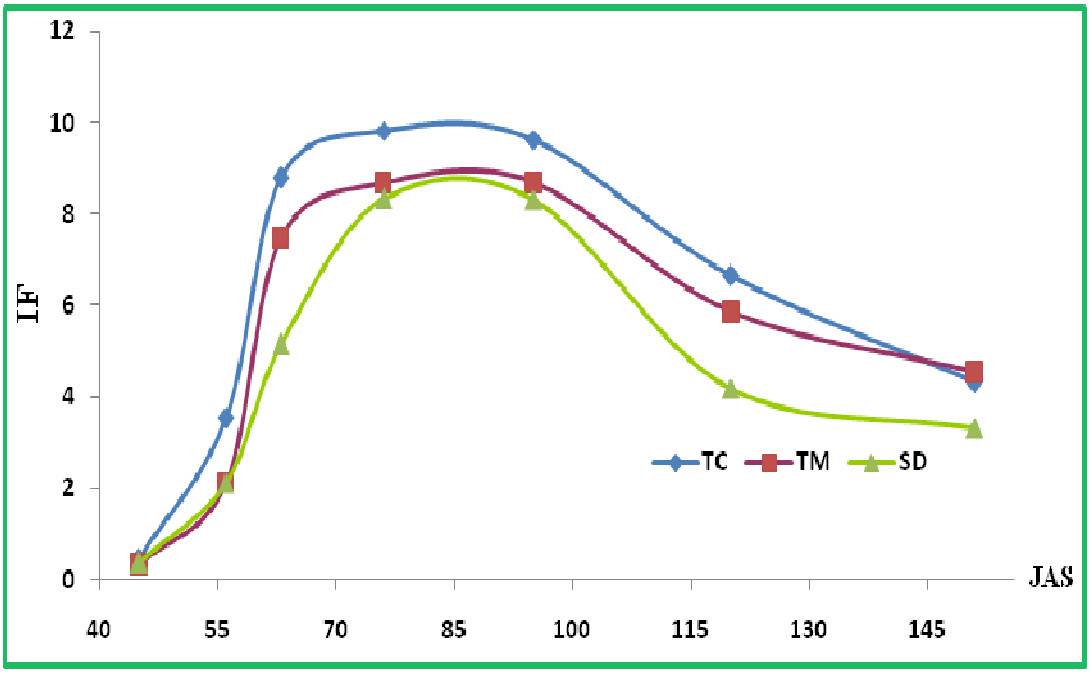


Figure 33. L'indice foliaire (IF) chez le blé tendre sous modes de labours classique et de conservation et en fonction du nombre de JAS

5. La matière sèche accumulée au cours du cycle de la culture

5.1. La cinétique de la matière sèche produite par la culture

L'analyse de la variance indique un effet significatif de l'accumulation de la matière sèche au cours du cycle de développement du cultivar ELWIFAK pour le mode de labour du sol, le stade de prélèvement (JAS) et l'interaction mode de labour x jours après semis (Tableau 13). En effet, la variété réalise 40.13 qha^{-1} de matière produite sous labour classique, réalisant ainsi 19.1% de gain relatif (6.43 qha^{-1}) sur la moyenne obtenue en labour de conservation 33.7 qha^{-1}. La quantité de matière sèche augmente graduellement en fonction de l'accomplissement des phases végétatives. Le maximum est atteint au stade de l'épiaison (Figure 34). L'interaction signification démontre la variabilité de la production de la matière sèche sous l'effet des labours en fonction des stades de prélèvement. Les valeurs varient de 45,0 qha^{-1} (SD) au stade de tallage à 76.5 qha^{-1} (TC) au stade d'épiaison où atteint son maximum (Figure 35).

Tableau 13. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance de la matière accumulée au cours du cycle de la culture blé tendre conduite sur sol en labour traditionnel et de conservation

Source de Variation	ddl	CM
Bloc	2	0.76 ^{ns}
Mode Lab.	2	7.9**
Dates	6	47.1**
Dates x Mode Lab.	12	1.9**
Résidus	40	8.6**

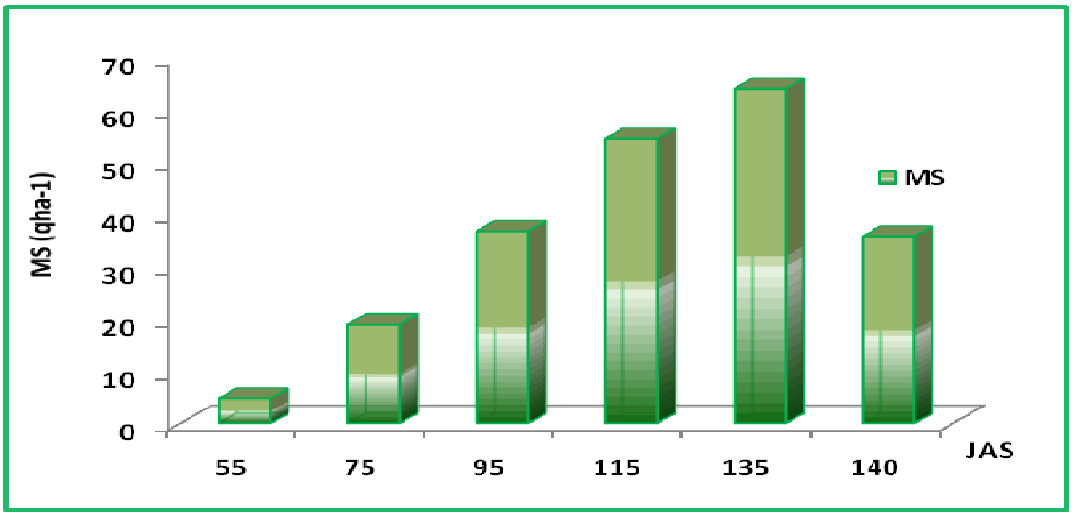


Figure 34. Matière sèche accumulée au cours du cycle de la culture blé tendre

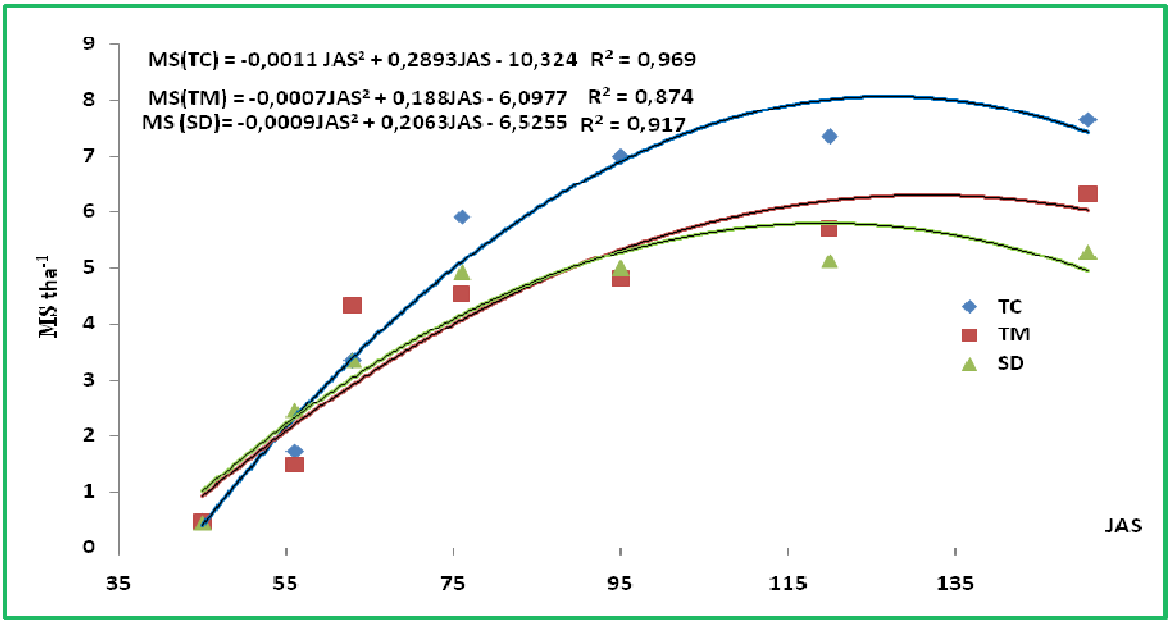


Figure 35. Matière sèche accumulée au cours du cycle de la variété de blé tendre conduite sur sol en labour traditionnel et de conservation

5.2. La matière sèche accumulée par les plantes adventices

L'analyse de la variance indique un effet significatif de la matière sèche des plantes adventices produite sous l'effet du mode de labour du sol (Tableau 14). Le résultat marque la prolifération préférée sous non labour du sol avec 42 gm-^{2}. Donc, la conduite en semis direct est 84.4% et 64,5% plus infestée comparativement aux conduites de labour réduit et classique notés dans l'ordre (Figure 36). Cure (1991) considère que le non labour favorise l'infestation du sol par les mauvaises herbes. Les plantes adventices surtout le brome posent un problème majeur à la gestion des pratiques culturales pour la conduite du blé (Schillinger et Papendick, 2007).

Tableau 14. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance de la matière sèche accumulée par les mauvaises herbes (msh, gm-^{2}) dans le cas du blé tendre cultivé sur sol en labour classique et de conservation

Source de Variation	ddl	CME
Bloc	2	1.94 ^{ns}
Mode Lab.	2	1062.1*
Résidus	4	8.6

ns, *, ** = effet non significatif et significatif au seuil de 5 et 1%, respectivement.

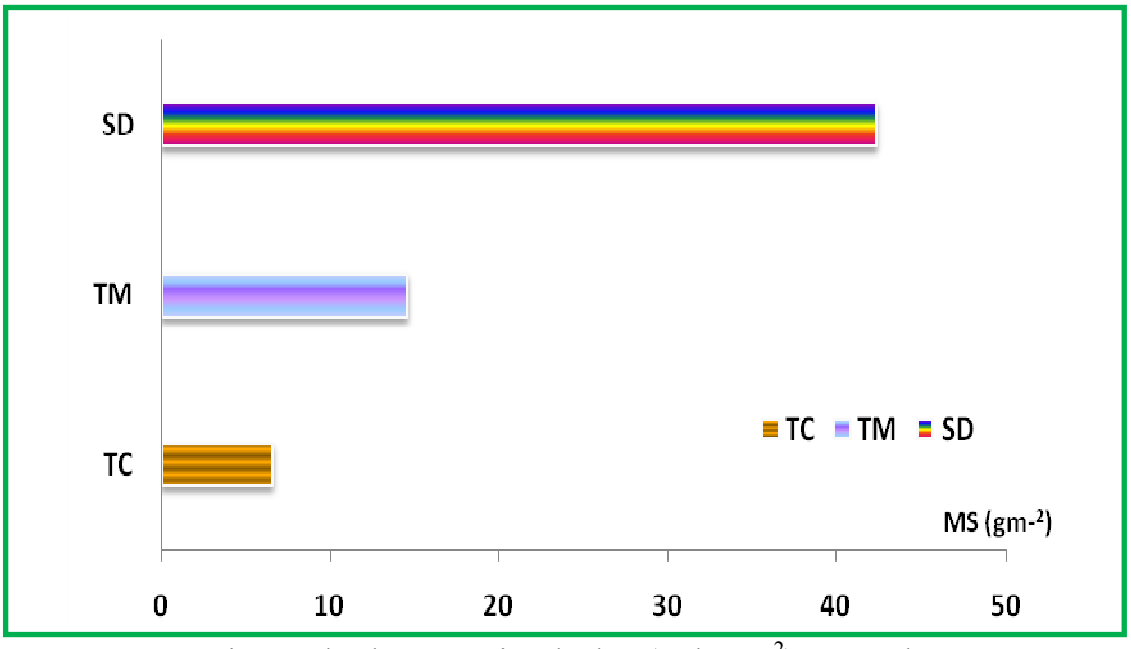


Figure 36. Matière sèche des mauvaises herbes (msh, gm^{-2}) accumulée au cours du cycle de la variété en fonction du mode de conduite

6. Le rendement et ses composantes sous l'effet des modes contrastés de labour du sol

L'analyse de la variance de la réponse de la productivité de la variété de blé tendre EL WIFAK conduite sur sol soumis aux labours de conservation et conventionnel indique que l'effet modes de labours contrastés est significatif pour le rendement en grain (RDT), la hauteur de la plante (HT), le poids de mille grains (PMG) et l'efficience d'utilisation de l'eau pour produire du grain (EUERDT) (Tableau III.14). Par contre, l'effet est non significatif pour le nombre de plants (NPL m^{-2}), le peuplement épis (NE), le nombre grains par épi (NGE), la biomasse aérienne (BIO), la quantité d'eau utilisée au cours du cycle de la plante (EUC) et l'efficience d'utilisation de l'eau pour produire la biomasse aérienne (EUEBIO) (Tableau 15).

L'effet non significatif indique que le cultivar testé pour ses caractères mesurés répond d'une manière similaire aux trois niveaux de perturbation du sol. En revanche, conduite sur sol en labours traditionnel (TC), en techniques simplifiée (TM) ou sur sol sans perturbation (SD), l'expression de la variété pour ces composantes ne varie pas d'une manière appréciable. En effet, à la levée, la culture de blé tendre en moyenne réalise 150 plants au m² pour les traitements relatifs aux modes de labour du sol. Cependant, le cultivar produit moins de plants lorsqu'il est semé sur sol avec pratique de conservation. L'écart est de 33 plants (20%) en faveur du labour conventionnel sur le semis direct. Ce résultat corrobore celui de Lithourgidis et *al*., (2006). Le nombre moyen d'épis (NE) est de 245m^{-2} pour les trois modes de travail du sol. Cependant, conduite sur sol en labour conventionnel, la variété produit plus d'épis, avec une augmentation relative de 31.8% à la moyenne réalisée en conditions de conservation du sol (Figure 37). Toutefois, les résultats indiquent que l'écart entre les niveaux de labour du sol n'est pas significatif. La fertilité moyenne de l'épi observée sur les trois traitements relatifs aux labours contrastés est de 31.3 grains par épi. Le gain obtenu est de 34.25% relativement au semis direct. La culture réalise plus de biomasse aérienne 37.11qha^{-1} en labour conventionnel, avec un gain de 19.2% comparativement à la moyenne des pratiques de conservation (Figure 37). L'expression des caractères mesurés du cultivar EL WIFAK montre une relative performance lorsqu'il est cultivé sur sol en labour conventionnel.

La réponse différentielle du comportement de la variété en labours contrastés pour le poids de mille grains (PMG), la hauteur de la plante (HT), le rendement en grain (RDT) et l'EUERDT évalue la bonne expression de la variété cultivée sur sol en labour conventionnel à l'égard des systèmes de conservations (Tableau 15 et Figure 37). La moyenne du poids de mille grains de la variété pour les trois modes est de 28.3 g. Cependant, le PMG obtenu en

labour conventionnel se caractérise par un gain relatif de 19.2% sur celui obtenu sur sol au travail minimum. Pour les trois modes de labour du sol, la variété réalise un rendement en grain moyen de 20.8qha^{-1}. Néanmoins, les gains de rendement relatifs obtenus par la variété cultivée sur sol travaillé en conventionnel sont de 20.3% et de 31.2% sur les valeurs observées sur sol au labour minimum et en semis direct notés dans l'ordre. Le système de travail du sol affecte significativement l'efficience d'utilisation de l'eau pour produire du grain (EUERDT). En labour classique, l'efficience d'utilisation de l'eau est de 9.5 kg mm^{-1}ha^{-1} relevant un écart de 25.3% sur la moyenne de l'EUERDT du labour réduit. Le mode de labour conventionnel du sol se distingue par une hauteur de la plante de 67.3 cm; l'écart observé est de 12.7 cm sur le travail minimum (TM) et 19,5 cm sur le semis direct SD (Figure 37).

Les résultats trouvés corroborent ceux de Triplett et Dick (2008) et de Camara et *al*., (2003). Effectivement, le blé cultivé sous système de conservation produit moins lorsqu'il est comparé au labour conventionnel. En revanche, l'efficience d'utilisation de l'eau pour produire du grain est significativement réduite sous labour de conservation. Par contre, Peaterson et *al*., (1993) estiment que l'application du système de non travail du sol en région où les précipitations sont faibles contribue à maintenir ou souvent augmente les rendements des cultures.

Tableau 15. Carré moyen de l'analyse de la variance du rendement en grain et de ses composantes, de la variété de blé tendre EL WIFAK conduite sous trois modes de labour du sol, le conventionnel (TC), travail minimum(TM) et en semis direct (SD)

Source de Variation	ddl	NPL	NE	NGE	PMG	HT	RDT
V.Totale	8	3973.4	3973.4	57.3	8.6	76.8	14.7
V.mod.lab.	2	9736.5 ^{ns}	1615.4 ^{ns}	129.4 ^{ns}	30.47**	293.5**	47.1**
V. résid.	4	2270.8	2270.8	38.6	0.95	6.0	2.3
		BIO	EUC	EUERDT	EUEBIO		
V.Totale		49.7	130.1	2.3	7.8		
V.mod.lab.		79.6^{ns}	27.9 ^{ns}	7.4**	13.9 ^{ns}		
V. résid		49.8	75.2	0.3	7.4		

$^{ns, *, **}$ = Effets non significatif, significatif au seuil de 5% et 1% respectivement. NPL = plantes m^{-2}, NE=Nombre d'épis m^{-2}, NGE= Nombre de grains par épi, PMG= Poids de mille grains, HT= Hauteur de la plante, RDT= Rendement en grains (qha^{-1}), BIO= Biomasse aérienne (qha^{-1}), EUC= Eau utilisée au cours du cycle (mm), EUERDT= Efficience d'utilisation de l'eau pour RDT (kg ha^{-1}mm^{-1}), EUEBIO= Efficience d'utilisation de l'eau pour BIO

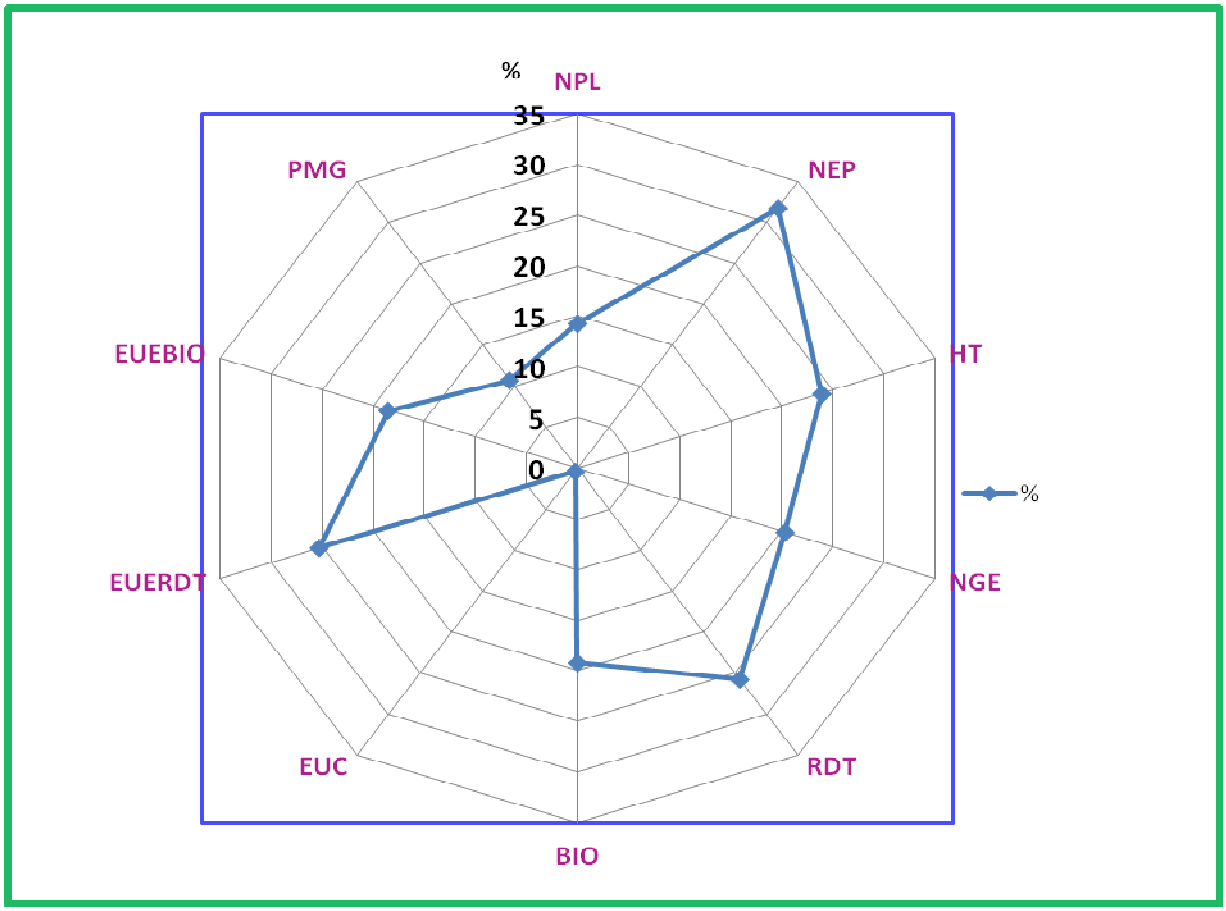


Figure 37. Gains relatifs (%) réalisés sur les caractères mesurés de la variété de blé tendre ELWIFAK conduite sur sol en système conventionnel relativement à la moyenne obtenue en système de conservation

Effectivement, la gestion des systèmes de production agricole requiert une réduction du labour du sol (Kravchenko et Thelen, 2007). Les pratiques de conservation minimisent la perturbation des couches du sol et améliorent ainsi la stabilité de l'agencement des agrégats, réduisant en revanche l'érosion. Par contre, le labour conventionnel dégrade le sol et réduit la couche de surface du sol de 4 mm par an (Meijer et *al*., 2013). Toutefois, l'amélioration de la productivité des cultures reste réalisable par une gestion durable du sol par la pratique du labour réduit, la couverture du sol par les résidus de récolte et la rotation des cultures (Mrabet, 2008; Chennafi et *al*., 2011a; Meijer et *al*., 2013).

7. L'eau utilisée au cours du cycle (EUC) et l'efficience d'utilisation de l'eau (EUE)

7.1. Les paramètres régissant le bilan hydrique du continuum sol plante-atmosphère

L'estimation de la quantité d'eau utilisée au cours du cycle (EUC) de la variété de blé tendre EL WIFAK cultivée sur sol en labours contrastés est évaluée tenant compte du cumul des précipitations (P, mm) et de la variation du stock d'eau (ΔS) au moment de sa mise en

place et à la récolte. L'expression de l'EUC est formulée par l'évapotranspiration (ET) qui est définie par la somme des quantités d'eau évaporée du sol (Es) et transpirée (T) par le couvert végétal au cours de son cycle végétatif (Atwell et *al.,* 1999; Angus et Herwaarden (2001; Chen et *al*., 2003; Kemanian et *al*.,2005). Les valeurs régissant le bilan hydrique du continuum sol plante-atmosphère sont définies par la quantité d'eau utilisée au cours du cycle de la plante (EUC), l'eau transpirée par la plante (T), l'eau évaporée du sol (Es), le déficit de pression de vapeur entre l'atmosphère et la feuille (DPV) et l'efficience d'utilisation de l'eau transpirée pour produire du grain (EUETRDT) déterminés selon la méthode décrite par Kemanian et *al*., (2005).

Les résultats de l'analyse de la variance indiquent que l'effet mode de travail du sol affecte d'une manière significative le rapport de la quantité d'eau évapotranspirée au déficit de pression de vapeur de l'air (ET/DPV). Cependant, l'effet est non significatif pour les quantités d'eau utilisée au cours du cycle de la plante (EUC, mm), l'eau transpirée (T, mm), l'évaporation de l'eau du sol (Es, mm) et le rapport T/(T+Es), et l'efficience effective pour produire du grain (EUETRDT) (Tableau 16).

Les labours traditionnel et de conservation du sol influent le quotient (ET/DPV). En effet, ce paramètre se distingue nettement d'un mode à un autre. Pour la variété de blé tendre EL WIKAK, ce rapport varie de 386.8 $mmkPa^{-1}$ lorsqu'elle est conduite sur sol non perturbé à 377.3 $mmkPa^{-1}$ sur sol en labour classique (Tableau17, Figure 38). Ces résultats corroborent ceux de Chen et *al.,* (2003), les auteurs notent des valeurs sur blé de 361.2 $mmkPa^{-1}$ à 425.0 $mmkPa^{-1}$.

Tableau 16. Carré moyen de l'analyse de la variance des quantités d'eau utilisée, transpirée et de l'efficience effective pour le rendement et la biomasse aérienne chez le blé cultivé sous modes contrastés du labour du sol

Source de Variation	ddl	EUC	T	Es	T/(T+Es)	ET/DPV	EUETRDT
V.T	8	130.1	266.3	266.3	0.41×10^{-2}	89.0	14.5
V.mod.lab.	2	27.9^{ns}	426.9^{ns}	426.9^{ns}	$0.65\times10^{-2\,ns}$	355.7^{**}	9.4^{ns}
V. résid.	4	75.1	212.7	212.7	0.337×10^{-2}	0.8×10^{-5}	16.2

$^{ns, *, **}$ = Effets non significatif, significatif au seuil de 5% et 1% respectivement. EUC = eau utilisée au cours du cycle (mm), T= eau transpirée au cours du cycle (mm); Es= eau évaporée par le sol (mm), T/(T+Es) = quotient de l'eau transpirée sur l'évapotranspiration, ET/VDP= rapport de l'évapotranspiration sur le déficit de vapeur de pression, EUETRDT= Efficience d'utilisation de l'eau de la transpiration pour le RDT (kg $ha^{-1}mm^{-1}$), EUETBIO= Efficience d'utilisation de la transpiration pour la BIO

L'analyse des valeurs indique que le niveau de l'écart de la quantité d'eau transpirée (T) par la variété EL WIFAK et la quantité d'eau évaporée du sol (Es) entre deux pratiques de labours n'est pas significatif; la différence reste inférieure à la PPDS(5%). La quantité d'eau transpirée varie de 86.0 mm; 77 mm et 62.0 mm successivement pour TC, TM et SD (Tableau 16). En milieu méditerranéen, Gregory et *al*., (2000) mentionnent des valeurs similaires. La différence des résultats est liée au comportement hydrique du sol en semis direct qui favorise l'évaporation (Es). En effet, au cours du cycle de la plante, l'évaporation de l'eau à partir du sol est de 200,0 mm, donc légèrement supérieure sous conduite en semis direct. En conséquence, l'écart est de 23.6mm sur le sol en labour classique (Tableau 17, Figure 38). La part de l'évaporation en fonction de l'ET, est estimée à 74.4% en mode de conservation du sol à 67.2% en conditions de labour traditionnel. Des résultats semblables ont été énoncés (Atwell et *al.*,(1999). L'eau utilisée par la culture est approximativement évaluée par l'évapotranspiration (ET) (Atwell et *al.,* 1999; Gregory *al.*, 2000; Katerdji et *al.,* 2007). Les labours ne font pas varier significativement l'ET, elle est de 254.0 mm (TM), 262.0 mm (TC) à 269.0mm en SD (Tableau 17). Ces résultats sont analogues à ceux relevés sur céréales en conditions pluviales semi-arides (Gregory et *al*., 2000; Bazza, 1999).

Brown et *al*., (1985) introduisent la notion de précipitations effectives (Pe) qui représentent la part de l'eau des pluies qui contribue effectivement à l'alimentation en eau des cultures. Elle est exprimée par l'équation Pe= P – (Es + R +D), P=précipitation (mm), R= la part d'eau ruisselée et D= celle drainée (Brown et *al*., 1985). Calculées par le logiciel CROPWAT, les pluies efficaces sont de 198.0 mm au cours du cycle de la variété étudiée.

La fraction de la transpiration sur l'eau utilisé T/(T +Es) au cours du cycle n'est pas affectée d'une manière significative sous l'effet du travail du sol. Non plus la différence entre la moyenne réalisée sous modes de labour qui reste inférieure à la PPDS5% (Tableau 17). Le rapport T/(T+Es) varie de 0.33 sous sol en labour classique à 0.24 en non labour de conservation. L'augmentation relative de T/(T+Es) est de 12.12% à 27.3% comparativement au labour réduit et le non labour du sol. Les résultats obtenues sont similaires à ceux de Gregory et *al.,* (2000).

Tableau 17. Valeurs moyennes des composantes hydriques du continuum sol plante-atmosphère

Labour	P.Cyc (mm)	Pe (mm)	EUC (mm)	T (mm)	Ev (mm)	T/(T+Ev) (mm)	ET/VDP ($mmkPa^{-1}$)
TC	215	198.0	262.2	85.9	176.3	0.33	377.3
TM	215	198.0	253.7	76.7	185.5	0.29	365.04
SD	215	198.0	268.8	62.3	199.9	0.24	386.76
PPDS5%	0	0	0.0	29.1	29.1	0.11	0.56×10^{-2}

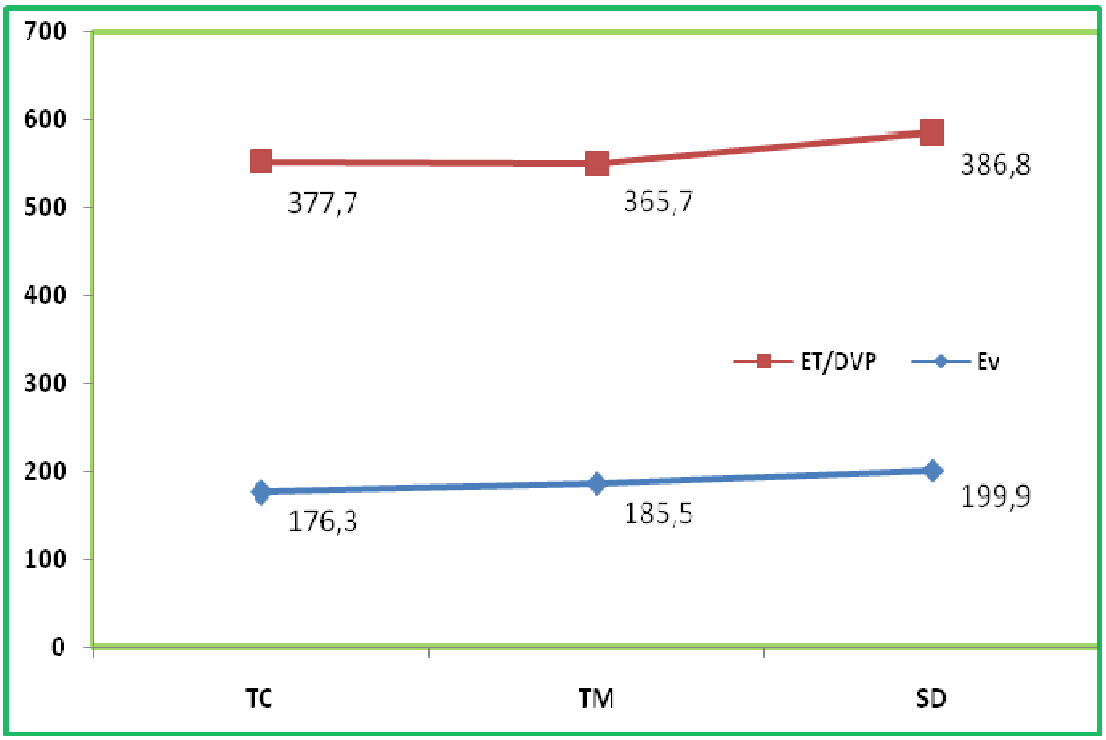


Figure 38. Variation de l'évaportaion de l'eau du sol (Es, mm) et du rapport [ET/DPV]($mmkPa^{-1}$) en condition de labours classique et de conservation

7.2. L'efficience d'utilisation de l'eau

L'efficience d'utilisation de l'eau pour produire du grain (EUERDT) varie d'une manière significative sous l'effet des pratiques de labour du sol. Par contre l'efficience d'utilisation de l'eau pour réaliser la biomasse aérienne (EUEBIO) n'est pas affectée d'une manière significative (Tableau 15). L'EUERDT moyenne chez le cultivar étudié varie de 9.6 $kgmm^{-1}ha^{-1}$, 7.9 $kgmm^{-1}ha^{-1}$ et 6.4 $kgmm^{-1}ha^{-1}$ respectivement lorsqu'elle est cultivée sur sol en labour traditionnel, en labour réduit et sans labour. Cependant, l'EUEBIO est estimée à 14.2

$kgmm^{-1}ha^{-1}$; 13.0 $kgmm^{-1}ha^{-1}$ et 10.0 $kgmm^{-1}ha^{-1}$ en TC, TM et en SD. En environnement méditerranéen semi-aride, des résultats proches ont été mentionnés (Bonfil et *al.,* 1999; Angus et Herwaarden 2001; Huang et *al.,* 2005*;* Ilbey et *al*.,2006).

Angus et Herwaarden (2001) abordent l'intérêt de l'efficience de l'utilisation de l'eau par transpiration (EUET). Ils définissent ce paramètre par le rapport du rendement produit à la transpiration effective de la plante. L'analyse de la variance de l'effet modes contrastés du labour du sol sur l'EUET n'est pas significative pour l'efficience de la transpiration pour réaliser du grain. Ainsi, l'expression de la variété EL WIFAK pour produire du rendement grain et la biomasse aérienne par quantité d'eau transpirée ne varie pas d'une manière appréciable sous la variation du niveau de perturbation du sol. Les valeurs moyennes varient de 30.6 $kgmm^{-1}ha^{-1}$ en labour classique (TC); 26.5 $kgmm^{-1}ha^{-1}$ en labour réduit et 27.9 $kgmm^{-1}ha^{-1}$ en semis direct pour le rendement grain. Tolk et Hawell (2009) reportent des valeurs de 35.0 à 57 $kgmm^{-1}ha^{-1}$. Cependant, pour la biomasse aérienne, la valeur de 43.2 $kgmm^{-1}ha^{-1}$ a caractérisé chacun des modes de labour du sol. L'expression de l'EUET entre les trois modes de travail du sol indique que la différence se distingue au niveau de la productivité de l'eau pour le grain. Par contre, pour la biomasse aérienne, les valeurs semblent similaires. Ritchie et Bruno (2006) considèrent que les différences de TE sous l'effet de la gestion des pratiques culturales est liée à l'évaporation de l'eau du sol. L'efficience d'utilisation de l'eau pour la transpiration requiert la maximisation de l'eau transpirée (EUET) (Huang et *al.,* 2005). L'efficience de la transpiration pour produire du grain diminue fortement avec l'augmentation de l'évaporation (Angus et Herwaarden, 2001). L'augmentation potentielle du rendement est liée à la gestion de la transpiration de telle sorte que l'eau est mieux utilisée au cours de la phase végétative quand le déficit de vapeur de pression est DVP est bas, d'où l'efficience de la transpiration est élevée (Angus et Herwaarden, 2001).

8. Les relations entre les variables

L'analyse de l'interférence entre les composantes liées au continuum plante sol atmosphère révèle que la quantité d'eau évaporée du sol (ES) est négativement et significativement corrélée avec le rendement en grain (r**= -0.77), la biomasse aérienne et l'efficience d'utilisation de l'eau (EUERDT) pour produire du grain (r**= - 0.79) et celle (EUEBIO) pour produire la biomasse aérienne (r**= -0.99). Par contre, la quantité d'eau transpirée T par la culture au cours de son cycle est positivement et significativement corrélée avec le rendement en grain, l'EUERDT et l'EUEBIO (Tableau 18).

Tableau 18. Coefficient de corrélation entre les composantes du continuum sol plante atmosphère

Matrice de coefficients de corrélation														
		T	ES	NE	NPl	etrdt	eurdt	eubio	ET	NGE	PMG	ET/dpv	HT	RDT
ES	R	-1	1											
NE	R	0,25	-0,25	1										
	p	0,52	0,52											
NPl	R	0,47	-0,47	0,47	1									
	p	0,20	0,20	0,21										
etrdt	R	-0,51	0,51	0,56	0,14	1								
	p	0,16	0,16	0,12	0,71									
eurdt	R	0,79	-0,79	0,62	0,67	0,12	1							
	p	0,01	0,01	0,08	0,05	0,77								
eubio	R	0,99	-0,99	0,23	0,48	-0,52	0,78	1						
	p	0,00	0,00	0,56	0,19	0,15	0,01							
ET	R	-0,34	0,34	0,05	-0,36	0,18	-0,36	-0,44	1					
	p	0,36	0,36	0,90	0,34	0,64	0,35	0,24						
NGE	R	0,22	-0,22	0,29	0,61	0,36	0,59	0,27	-0,54	1				
	p	0,56	0,56	0,44	0,08	0,34	0,09	0,49	0,14					
PMG	R	0,09	-0,09	0,50	0,02	0,20	0,13	0,00	0,80	-0,37	1			
	p	0,81	0,81	0,17	0,97	0,61	0,74	1,00	0,01	0,33				
ET/dpv	R	-0,34	0,34	0,05	-0,36	0,18	-0,36	-0,44	1,00	-0,54	0,80	1		
	p	0,36	0,36	0,90	0,34	0,64	0,35	0,24	0,00	0,14	0,01			
HT	R	0,64	-0,64	0,70	0,67	0,25	0,90	0,64	-0,27	0,56	0,29	-0,27	1	
	p	0,06	0,06	0,03	0,05	0,51	0,00	0,07	0,49	0,12	0,45	0,49		
RDT	R	0,77	-0,77	0,65	0,65	0,14	0,99	0,76	-0,24	0,54	0,24	-0,24	0,91	1
	p	0,01	0,01	0,06	0,06	0,71	0,00	0,02	0,53	0,13	0,54	0,53	0,00	
BIO	R	1,00	-1,00	0,25	0,47	-0,51	0,79	0,99	-0,34	0,22	0,09	-0,34	0,64	0,77
	p	0,00		0,52	0,20	0,16	0,01	0,00	0,36	0,56	0,81	0,36	0,06	0,01

Ceci démontre l'intérêt d'une pratique culturale qui favorise la transpiration en réduisant l'évaporation du sol. En effet, le mode de labour qui se distingue par une transpiration supérieure est plus expressif pour valoriser l'eau pour produire plus de grain et de biomasse aérienne. Le résultat différentiel entre les systèmes de labour est fondé sur une utilisation plus efficiente de l'eau disponible pour la plante. La quantité d'eau évaporée du sol Es est négativement corrélée avec l'ensemble des caractères mesurés sur la variété. Ceci met en évidence les conséquences sur le rendement et ses composantes de l'acuité de l'effet d'un système cultural où l'évaporation est intense.

Les composantes corrélées positivement au rendement grain sont l'EUERDT (r**= 0.99), le nombre de plants (NPL) et d'épis (NE) au m² (r= 0.7) et la fertilité de l'épi NGE (r= 0.54). La hauteur de la plante est positivement et significativement corrélée ((r**= 0.91) avec le

rendement en grain (Tableau 18). Abbassenne et *al*., (1998) mentionnent l'intérêt de la capacité de translocation des assimilats stockés dans la tige pour l'amélioration du rendement. Les auteurs ajoutent que nombreux facteurs contraignent ce caractère qui atteint rarement sa valeur maximale en conditions pluviales. En conséquent, le mode de labour pratiqué qui au cours du cycle valorise la hauteur de la plante est considéré plus efficient dans l'amélioration de la productivité de la plante. Chowdly et *al*., (2000) mentionnent des suggestions similaires.

La biomasse aérienne est utile dans les conditions pluviales des Hauts Plateaux. La production de plus de biomasse assure une meilleure gestion de la répartition de la part de biomasse pour la préservation et l'amélioration des propriétés du sol et la part réservé pour l'élevage. En revanche, les systèmes de travail du sol qui semblent plus productifs à long terme pour ces caractères mesurés cités sont suggérés meilleurs pour une gestion durable de la conduite de la céréale en conditions pluviale semi-arides.

L'expression de la biomasse aérienne au rapport T/DPV et le rendement en grain en fonction de ET/ DPV indique que ces caractères mesurés chez la variété EL WIFAK croit linéairement avec l'augmentation de la transpiration (BIO) et l'évapotranspiration (RDT) (Figures 39 et 40). Atwell et *al*., (1999) mentionnent une approche semblable sur blé.

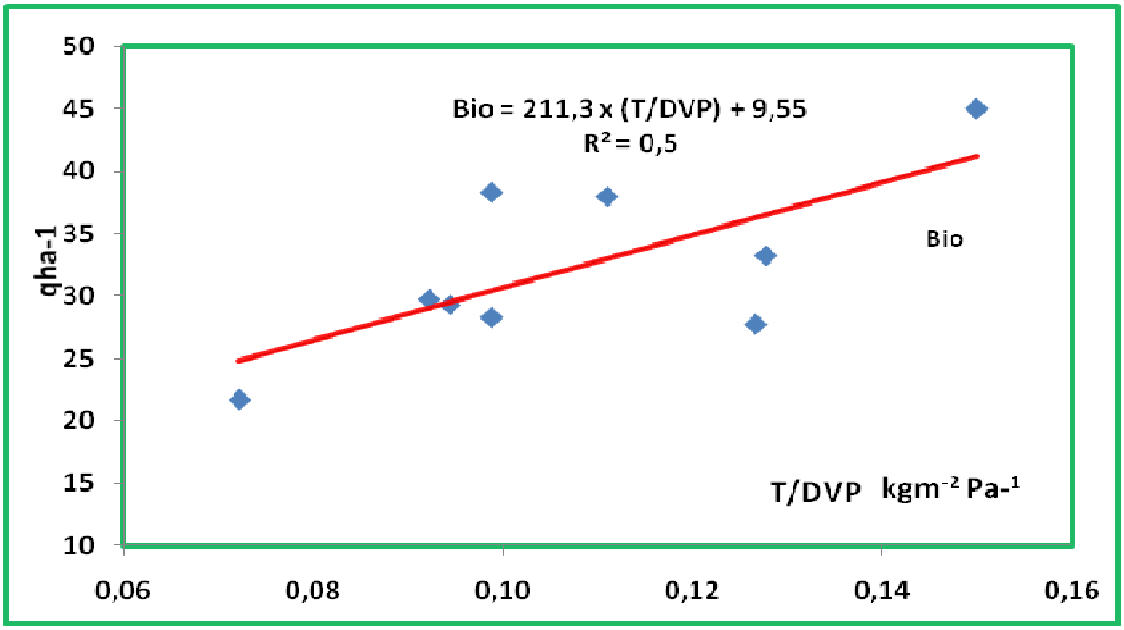


Figure 39. Expression de la biomasse aérienne (Bio, qha^{-1}) produite par la variété EL WIFAK en fonction de T/VDP ($mmkPa^{-1}$)

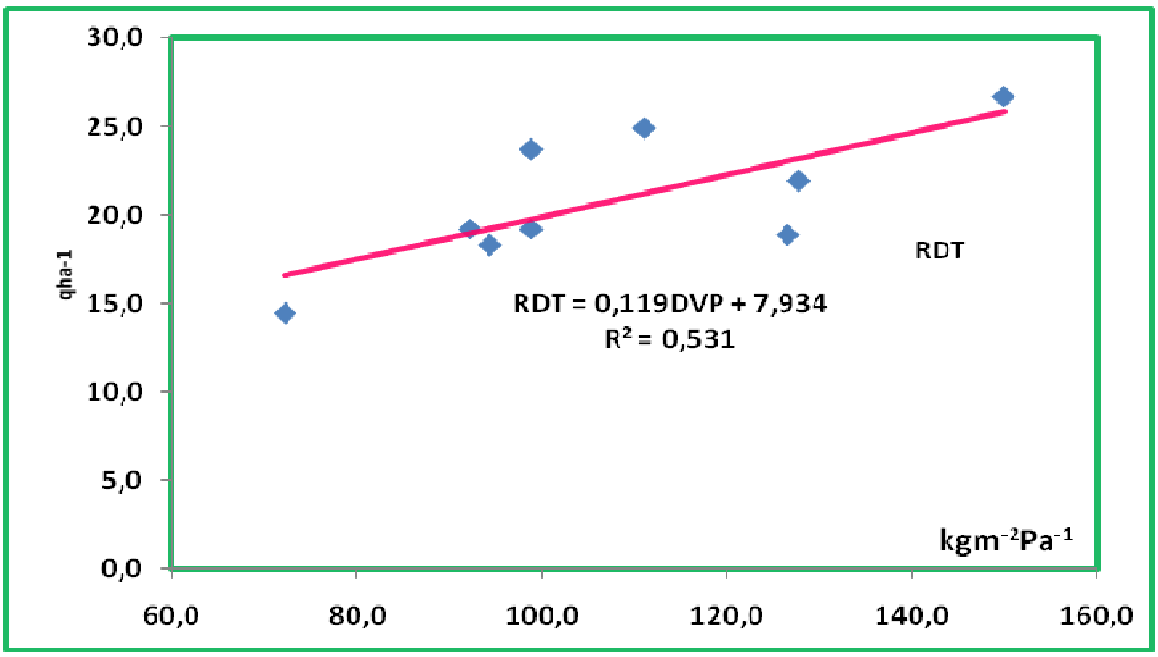


Figure 40. Expression du rendement grain (RDT, qha^{-1}) réalisé par la variété EL WIFAK en fonction de ET/DPV

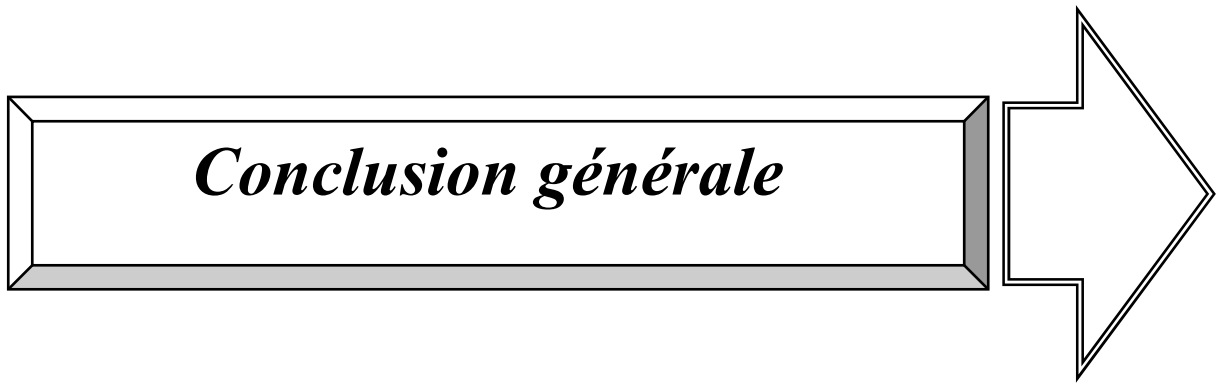
L'analyse de régression multiple du rendement en grain en fonction des caractères mesurés révèle que le rendement en grain est très fortement déterminée par l'efficience d'utilisation de l'eau (EUERDT) pour réaliser du grain et par le rapport de l'eau utilisée au cours du cycle de la plante au déficit de pression de vapeur de l'air (ET/DPV).

Le modèle de l'analyse de régression est:

$$RDT = 2{,}64\ EUERDT + 0{,}052\ ET/DVP - 19{,}72$$

$$R^2 = 0{,}99^{**}$$

Conclusion générale



Conclusion

L'analyse des résultats sur les réponses de la variété de blé tendre EL WIFAK cultivée sur sol en conditions de conservation et en labour classique indique une convergence pour certains caractères mesurés et une divergence pour d'autres. En effet, conduite sur sol en labour traditionnel, la variété de blé tendre se démarque pour tous ses caractères mesurés comparativement à la conduite en système de conservation. La cinétique de la durée de réalisation du cycle végétatif révèle l'écart d'accomplissement de la phase végétative d'un mode de labour à un autre. La durée en jours après semis du cycle est de 148 jours sous labour conventionnel (TC). Cependant, semée sur sol non perturbé, la variété prend 4 jours d'avance et le retard à l'épiaison est de 5 jours. Les observations de notation d'apparition des stades végétatifs, montrent que la levée est affectée par les effets des basses températures hivernales. D'autre part, l'arrière cycle de la plante est confronté aux fortes températures et au déficit hydrique qui caractérise la région des Hautes Plaines Sétifiennes. Ces résultats crédibilisent les arguments de Triplett et Dick (2008), les résultats de Machado et *al*., (2008) et l'énoncé de spécificité climatique de la région de Sétif (Chennafi, 2012). Le statut hydrique de la plante est affecté significativement sous l'effet des modes contrastés de travail du sol. En effet, l'intégrité cellulaire révèle un gradient de stress hydrique significativement croissant de l'IC TC< TM< SD indiquant une IC de 46.1 % en SD qui se réduit à 32.2% en labour traditionnel. La teneur relative en eau des feuilles à un stade donné est significativement liée à la technique de labour. En conséquence, les valeurs indiquent une teneur relative en eau décroissante au cours du stade de remplissage du grain. Cependant, l'arrière cycle de la plante en conduite de labour classique semble plus efficiente et la teneur relative en eau des feuilles selon le mode labour est sous l'expression TR_{TC}> TR_{TM}> TR_{SD}. Le résultat repère le degré de l'effet du stress hydrique en conduite de non labour du sol au cours de la campagne agricole de 2011/2012. L'indice foliaire chez le cultivar EL WIFAK est significativement dépendant du système de travail du sol et du nombre de jours après semis. Il est de 6.3 en labour conventionnel à 4.6 en sol non perturbé. La cinétique de l'évolution de la matière sèche chez EL WIFAK démontre la performance du cultivar à produire plus en condition de labour traditionnel. Par contre, la quantité de matière sèche liée aux plantes adventices est plus présente en semis direct, justifiant ainsi la nécessite de l'application de produits désherbants. En effet, les parcelles en semis direct sont de 84.4% et de 64,5% plus infestée relativement qu'en conduite en labour conventionnel et minimum. La conduite en labour traditionnel est

significativement plus favorable pour la productivité de la variété de blé tendre EL WIFAK pour réaliser plus de rendement en grains (RDT), pour la hauteur de la plante (HT), le poids de mille grains (PMG) et l'efficience d'utilisation de l'eau pour produire du grain (EUERDT). En labour classique, la productivité de l'eau est de 9.5 kg $mm^{-1}ha^{-1}$ relevant un écart de 25.3% sur la moyenne de l'EUERDT du labour réduit Ces résultats corroborent ceux de Triplett et Dick (2008) et de Camara et *al*., (2003).

Les données portant sur le bilan hydrique du continuum sol plante-atmosphère indiquent que la quantité d'eau évapotranspirée par la plante au déficit de pression de vapeur de l'air (ET/DPV) est significativement liée au système de labour du sol. Ce paramètre se caractérise par une valeur de 386.8 $mmkPa^{-1}$ lorsque la variété est cultivée sur sol non perturbé à 377.3 $mmkPa^{-1}$ en conditions de labour classique. Par contre, certaines variables du bilan hydrique comme l'eau utilisée au cours du cycle (EUC), l'eau transpirée (T), l'évaporation de l'eau du sol (Es) et le rapport T/(T+Es), et l'efficience effective pour produire du grain (EUETRDT) ne semblent pas différer significativement d'un système à un autre au cours de l'expérimentation. Des travaux ont abouti à des résultats semblables (Chen et *al.,* 2003; Gregory et *al*., 2000; Atwell et *al.,* 1999).

Toutefois, les résultats sur plusieurs campagnes assureraient une interprétation plus fondée. Le labour réduit, à long terme, contribue à stabiliser à améliorer le rendement et protège le sol des risques climatiques et des effets du labour érosif. Gregory et *al*., (2000) se penchent sur la gestion des pratiques comme le labour du sol et le mulching qui modifient la surface du sol et la couverture végétale qui réduit l'évaporation de l'eau du sol. En effet, les techniques antiérosives du sol permettent de conserver de l'eau au niveau du profil du sol pour la plante. La gestion de l'eau pour améliorer la production en conditions pluviale semi-aride est une priorité. Turner (2004) recommande une gestion agronomique appropriée qui valorise de plus de 50% l'efficience d'utilisation de l'eau pluviale. En Algérie Greco (1966) considère que succédant à plusieurs mois de sécheresse, les pluies d'automne, violentes, torrentielles tombent sur une terre souvent dépourvue de végétation protectrice. Cependant, la valorisation de la biomasse aérienne par la production de plus de paille enrichit le sol en matière organique et le protège contre les érosions hydrique et éolienne en réduisant la vitesse de déplacement des particules de l'eau. Par conséquent, à la gestion des pratiques culturales s'associent conjointement à l'utilisation de cultivars performants qui produisent une biomasse aérienne conséquente, résultant d'une efficience potentielle d'utilisation de l'eau pluviale.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- **Abbassenne F., Bouzerzour H., Hachemi L. 1998**. Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride. *Ann. Agron. INA, (18): 24-36.*
- **Abdellaoui Z., Tissekrat H., Belhadj A. et Zaghouane O. 2010**.Etude comparative de l'effet du travail conventionnel, semi direct et travail minimum sur le comportement du blé dur. *In actes des 4ème rencontres méditerranéennes du semis direct. Sétif, du 3 au 5 mai 2010. Recherche agronomique INRAA. pp 68-82.*
- **Aibar J. 2006**. La lute contre les mauvaises herbes pour les céréales en semis direct : principaux problèmes. In 'Actes des troisièmes rencontres méditerranéennes du Semis Direct'. Options méditerranéennes, série A, (69) :19-26.
- **Aït Ouali A., et Kourougli S. 2010**. Etude de l'effet des trois systèmes de culture et du précédent cultural sur le comportement du sol et de la culture de blé tendre (*Triticum aestivum,* L). *Mémoire d'ingénieur d'état. UFAS Sétif, Département des Sciences Agronomiques, 21p.*
- **Ait-Abdallah-Djennadi F., Dekkiche N., Ghalem-Djender Z.,Oumdjekane K.2010**. cultures et couts de production des grandes cultures. *Ed : ITGC, Alger.6p*
- **Al-Issa, TA., Samarah NH. 2007**. The effects of tillage practices on barley production underrainfed conditions in Jordan. *American Eurasian J. Agric. Envir. Sci (*2) :75-79.
- **Allen R ., Pereira LS., Smith M. 1998**. Les méthodes pratiques de calcul des besoins en eau. *In: Tiercelin JR, éditeur. Traité d'irrigation*, Paris: *E. Lavoisier :* p: 206-231.
- **Angar H ., Ben Haj Salah H ., Ben-Hammouda M**. **2011**.Semis direct et semis conventionnel en Tunisie : les résultats agronomiques de 10 ans de comparaison *In: Bouzerzour H., Irekti H. & Vadon B. Quatrièmes rencontres méditerranéennes du semis direct. Options méditerranéennes. Série A.: Séminaires Méditerranéens (96):* 53-59. *Ed*. CIHEAM
- **Angus J.F., Herwaarden A.F. 2001**.Increasing water use and water use *efficiency in dry land wheat. Agronomy Journal, (93):290-298*
- **Anonyme 2009**. Étude sur les maladies fongiques des céréales 80% des champs prospectés touchés [En line] in : http://www.elwatan.com/80-des-champs-prospectes-touches.

- **Araus J. L., Villegas D., Aparicio N., Garcia del Moral L. F., El Hani S., Rharrabti Y., Ferrio J. P. et Royo C. 2003**. Environmental factors determining carbon isotope discrimination and yield in durum wheat under Mediterranean conditions. Crop Sci., (43):170-180.
- **Atwell B J, Kriedemann P E., Turnbull C G N 1999**. *Plants in Action - Adaptation in Nature, Performance in Cultivation, The Australian Society of Plant Physiologists South Yarra, Victoria.*
- **Bahlouli F et Bouzerzour H.2006**. Comportement variétal de 10 génotypes contrastes de blé dur aux contraintes abiotiques sous climat semi aride. J. Algér. Régio. Ari., (5) :51-60.
- **Bahlouli F., Bouzerzour H., Benmahammed A. 2008**. Effets de la vitesse et de la durée du remplissage du grain ainsi que de l'accumulation des assimilats de la tige dans l'élaboration du rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans les conditions de culture des hautes plaines orientales d'Algérie. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ, 12(1): 31-39.*
- **Bajji M., Lutts S., Kinet J.M. 2001**. Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf aging in three durum wheat (Triticum durum Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. *Plant Sci., (160): 669- 681.*
- **Baldy C. 1974**. Etude fréquentielle du climat, son influence sur la production des principales zones céréalières d'Algérie. *Versaille: INRA, Dép. Bioclimatologie/Ministère de l'Agriculture;*
- **Baldy C., Ruelle P. et Fernandes A. 1993**. Résistance à la sécheresse du sorghograin en climat méditerranéen. *Sécheresse, (4) : 85-93*.
- **Baldy C., Ruelle P. et Fernandes A. 1993**. Résistance à la sécheresse du sorghograin en climat méditerranéen. *Sécheresse, (*4) : 85-93.
- **Baldy C.1986**. Comportement des blés dans les climats méditerranéens. *Ecologia Mediterranea,* (12): 73-88.
- **Barrs H. 1968**. Determination of water deficit in plant tissues. In: *Water Deficit and Plant Growth*. Koslowski T. *Academy Press*. New York. 235-368 p.
- **Barrs H. 1968**. Determination of water deficit in plant tissues.In:*Water Deficit and Plant Growth*. Koslowski T. *Academy Press*. New York. 235-368 p.
- **Basic F., Kisic I., Mesic M., Nestroy O. et Butorac A. 2004**. Tillage and crop management effects on soil erosion in central Croatia. *Soil and Tillage Res., (78): 197-206.*

- **Bedrani S. 2004.** L'alimentation de rue en Algérie : quelques réflexions sur la base d'une enquête visuelle rapide. Alger. *Options Méditerranéennes, (36) : 25-46.*
- **Bélanger V. 2010**. Variabilité de paramètres hydrogéologiques dans des faciès sédimentaires de l'aquifère paléodeltaïque de Saint-Honoré Mémoire de Master, Université du Québec à Chicoutimi.16p.
- **Belkherchouche H., Fellah S., Bouzerzour H., Benmahammed A, Chellal N. 2009.** Vigueur de la croissance, translocation et rendement grain du blé dur (*Triticumdurum*Desf.) sous conditions semi-arides. *Courrier du savoir (*9)*:17-24.*
- **Ben Hammouda M., Guesmi M., Nasr K. et Khammassi M., 2004**. Evolution de la matière organique en semis direct et conventionnel. Actes des deuxièmes rencontres méditerranéennes sur le semis direct. Tabarka, Tunisie. Pp : 104-107.
- **Benites et Ashburner., 2001**. Le non labour, le labour minimum, le labour réduit et le labour sous paillis ou mulch, est une dénomination synonyme qui signifie le labour de conservation.
- **Benmahammed A.2005**. Hétérosis, transgressions et efficacité de la sélection précoce et de retardée de la biomasse du nombre d'épis et utilisation des indices chez orge (*Hordeumvulgare*L.).*Thèse Doctorat. Université Constantine.125 pages*.
- **Bescansa P., Imaz MJ., Virto I., Enrique A., Hoogmoed WB. 2006**. Soil water retention as affected by tillage and residue management in semiarid Spain. *Soil & Tillage Research (*87) : 19–27.
- **Binzel M.L., Hess F.D., Bressan R., Hasegawa P.M. 1988**. Intracellular compartimentation of ions in salt adapted tobacco cells, *Plant Physiol. 86 : 607–614.*
- **Blum A. 1996**. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. *Plant Growth Regul. (20):135–148.*
- **Blum A. 2005**. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Agricultural Research* (56): 1159–1168
- **Bogard M.2011**. Analyse génétique et écophysiologique de l'écart à la relation teneur en protéines - rendement en grains chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) *Thèse de Doctorat, Université d'Auvergne: 17P.*
- **Bolot S., Abrouk M., Masood-Quraishi U., Stein N., Messing J., Feuillet C. and Salse J. 2009**. The "inner circle" of the cereal genomes. *Current opinion in plant biology*, 12(2):119–125.

- **Bouguendouz A.2011**. Effet de trois itinéraires techniques sur l'élaboration du rendement de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) sous conditions semi arides des hauts plateaux sétifiens. *Options méditerranéennes Série A*, (96) :221226.
- **Bourennane N., Adamou S., Haddadi F., Hamidouche S., Sadoud S., 2005**. Quel rôle pour les fermes-pilotes dans la préservation des ressources génétiques en Algérie. Série de Documents de Travail N° 126 Algérie. Pp 7-23.
- **Bourguignon L. et Bourguignon C., 2004**. Comparaison analytiques des sols tunisiens cultivés en labour et en semis direct. Actes des deuxièmes rencontres méditerranéennes sur le semis direct. Tabarka, Tunisie. Pp : 90-98.
- **Bouzerzour H. 1990**. Les caractéristiques des variétés d'orge destinées aux hauts-Plateaux Sétifiens. *Céréaliculture, (23): 9-15.*
- **Bouzerzour H., Bahlouli F., et Benmahamed A. 2008**. Effets de la vitesse et de la durée du remplissage du grain ainsi que l'accumulation des assimilats de la tige dans l'élaboration du endement du blé dur (Triticum durum Desf.) dans les conditions de culture des hautes plaines orientales d'Algérie. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ., (12): 31-39.*
- **Bouzrara S., Ould Ferroukh M.E.H., Bouguendouz A.2011.** Influence du semis direct et des techniques culturales simplifiées sur les propriétés d'un sol de la ferme pilote Sersour (Sétif). *Options méditerranéennes Série A*, (96) :221226
- **Bouzrara S.2009.** Influence du semis direct de la culture des céréales sur les propriétés du sol en milieu semi-aride. Mém. Ing., ENSA, EL Harrach (Alger). 52p.
- **Bouzza A.1990**. Water conservation in wheat rotation under several management and tillage systems in semi-arid areas. Ph.D. Diss. Univ. of Nebraska, Lincoln, USA,200p.
- **Boyeldieu J.1999.**Encyclopédie des techniques agricoles : production végétale-Blé Tendre-*Ed : Paris.20-20.*
- **Brouwer C., Goffeau A., Heibloem M. 1985**. Irrigation water management: Introduction to Irrigation.http://www.fao.org/docrep/R4082E/R4082E00.htm
- **Brown C., Hayes A., Furguson G., Johnson P., Schaafsma A., Shan J., Sikkema P., Taylor T., Sue Lang K. et Lobb D., 2003.** Semis direct: les secrets de la réussite. http://www.gov.on.ca/OMAFRA/french/environnement/no_til/no_til.htm.
- **Carama K.M., Payne W.A. et Rasmussen P.E., 2003**. Long-term effects of tillage, nitrogen, and rainfall on winter wheat yields in the Pacific Nothwest. Dans : *Agron. J.*, (95):828-835.

- **Carof M., 2006.** Fonctionnement de peuplements en semis direct associant du blé tendre d'hiver (*Triticum aestivum* L.) à différentes plantes de couverture en climat tempéré. *Thèse de Doctorat, Institut National Agronomique Paris–Grignon : 15p.*
- **Carr P., Horstley R.D. et Poland W.W., 2003.** Tillage and seeding effects on wheat cultivars: 1. Grain production. Dans : *Crop Sci.,(43) :202-209.*
- **Castell F., 2006** .Fonctionnement hydrique et physiologique de la plante. *In: Tiercelin J.R.et Vidal A. (2006). Traité d'irrigation*, 147-161. *2e Ed. Lavoisier.* Paris, 1265 p
- **Chakib A., Mustapha L., Kouider B., Mohamed J., Nasralhaq N., Abdelkarim, F.2002**. Adaptations hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin
- **Chaves M. M., Pereira J.S., Maroco J., Rodrigues M.L., Ricardo C.P.,Oserio M.L., Carvalho I. and Pinheiro C. 2002**. How do plants cope with water stress in *fields Photosynthesis and growth. Ann. Bot., (89): 907-916.*
- **Chen C., Payne AW., Smiley RW., Stoltz M.. 2003**. Yield and water use efficiency of eight wheat cultivars planted on seven dates in Northeastern Oregon. *Agron. J. (95): 836 -843.*
- **Chennafi H. 2012a**. *Amélioration de la Productivité du Blé en Environnement déficitaire en eau, Ed : revue d'agriculture UNVSETIF N° 03.*
- **Chennafi H. 2012b**. Decadal evaluation of durum wheat water requirements to improve rainfed agriculture under semi-arid conditions. *Science direct. Elsevier. Energy Procedia(18): 696-904.*
- **Chennafi H. Bouzerzour H. Saci A., Chenafi A. 2008a**. La pratique des façons culturales sur la culture du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en environnement semi-aride. *In: Proceedings of the 5th International Conference on Land Degradation. Valenzanos, Bari, Italy, 18-22 September 2008, p: 63-67.*
- **Chennafi H., 2012c**. Decadal Evaluation of Durum Wheat Water Requirements to Improve Rainfed Agriculture under Semi-Arid conditions. *Science direct. Elsevier. Energy Procedia 18 (2012) 896 – 904.*
- **Chennafi H., Bouzerzour H., Aidaoui A., Saci A. *2005***. Valorisation des apports d'appoint d'eau sur blé dur (*Triticum Durum* Desf.*)* en zone semi-aride: Effets variété et stade d'apport. *In: Proceedings: Premier Séminaire international sur l'Environnement et se Problèmes connexes <<SIEPC >>Université, Béjaia.*

- **Chennafi H., Bouzerzour H., Saci A. 2008b**. Amélioration de l'agriculture pluviale en environnement semi-aride. *In: Proceedings du séminaire national sur les contraintes à la production du blé dur en Algérie. Université Chlef, le 29 et 30 novembre 2008, p:62-68.*
- **Chennafi H., Hannachi A., Touahria O., Fellahi ZEA., Makhlouf M., Bouzerzour H.. 2011a**. Tillage and residue management effect on durum wheat [*Triticumturgidum* (L.) Thell.ssp. turgidum conv. durum (Desf.) MacKey] growth and yield under semi-arid climate. *Advances in Environmental Biology*5: 3231-3240.
- **Chennafi H., Saci A., Harkati N., Adjabi A., Mébarkia A. 2011b**. 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. & Vadon B. Quatrièmes rencontres méditerranéennes du semis direct. Options méditerranéennes. Série A.: Séminaires Méditerranéens 96: 213:220. Ed. CIHEAM Lavoisier. Paris, 251 p*
- **Chennafi, H., Aïdaoui, A., Bouzerzour, H. & Saci, A. 2006**. Yield reponse of durum wheat (Triticum durum Desf.) cultivar Waha to deficit irrigation under semiarid growth conditions. *Asian J. Plant Sci., (5): 854-860.*
- **Chervet A., Ramseier L., Sturny W. G. et Tschannen S., 2005**. Comparaison du semis direct et du labour pendant 10 ans. Office de l'agriculture et de la nature du canton de Berne. *Revue suisse Agric. 37 (6) : 249-256.*
- **Chervet A., Ramseier L., Sturny W.G., Weisskoffen P., Zihlmann U., Muller M. et Schafflutzel R. 2006**. Humidité du sol en semis direct et sous labour. Office de l'agriculture et de la nature du canton de Berne. *Revue suisse Agric. 38 (4) : 185-192.*
- **Clément R., Galand A. 1979**. Irrigation par aspersion et réseaux collectifs de distribution sous pression. *Ed. Paris: Eyrolles.*
- **Clément.Granxcourt M et Parts G.1971**.les céréales Ed: G.B.Bailliére et Fils, 351p.
- **Combe L., Picard D. 1994**. Elaboration du rendement des principales cultures annuelles. *INRA éditions, Paris. 191 p.*
- **Condon A.G., Richards R.A., Rebetzke G.J and Farquhar G.D.2004.** Breeding for high water-use efficiency. *J. Exp. Bot. (55): 2447–2464.*
- **Conseil International des Céréales (CIC), 2009**. Rapport sur le marché des céréales. GMR N° :390 [en ligne] in : http://www.igc.org.uk/fr/publications/default.aspx)
- **Couvreur A., Dagneaud G et Massé D. 1979**.Les céréales et le froid, *perspectives agricoles N ° (22) : 12-21.*
- **Cramer G.R., Alberico G.J., Schmidt C.1994**. Leaf expansion limits dry matter accumulation of salt-stressed maize, *Aust. J. Plant Physiol. 21:663–674.*

- **CropStat 7.2.3. 2009**. Free statistic package by International Rice Research Institute (IRRI), Manila, Philippine.
- **Dakheel A.J., Nadji I., Mahalazkshmi V. and peacock J.M. 1993**. Morphological traits associated with adaptation of durum wheat to harsh Mediterranean environments. *Aspects of Applied Biology, (34): 297-307*.
- **Debaeke P. et Orlando D.1994**. Simplification du travail du sol et évolution de la flore adventice: conséquences pour le désherbage à l'échelle de la rotation. *In Simplification du travail du sol, Eds G. Monnier, G. Thevenet and B. Lesaffre. Pp : 35-62. INRA éditions, Paris (France).*
- **Dec D., Dörner J., Becker-Fazekas O., et Horn R. 2008**. Effect of bulk density on hydraulic properties of homogenized and strutured soils. *J. Soil Sc. Plant Nutr. (1): 1-13*
- **Decagon Devices, Inc. 2005**. *Mini Disk Infiltrometer*. User's Manual, Version 1.4, (http://www.decagon.com/literature/manuals/InfiltrometerManual.pdf. Consulté en 2008).
- **Derdour L.2007**. Variabilité génétique du blé dur (*Triticum dirum desf.*) vis-à-vis de la nuisibilité direct du brome (*Bromus rubens L.*) en conditions semi-arides. *Thèse de magister en Sciences Agronomiques. Université Colonel Elhedj Lakhder- Batna, 55 P.*
- **Direction des Services Agricole (DSA), 2005**. Evolution des productions, superficies et rendement des produits végétaux en Algérie de 1990-2005. D.S.A, Sétif, 7 P.
- **Direction des Services Agricole (DSA), 2010**. Statistiques agricoles, bilan des productions agricoles. Série B, volet N°01.
- **Direction des Services Agricole (DSA). 2009**. Evolution des productions, superficies et rendement des produits végétaux à Sétif de 1988-2008. D.S.A. Sétif, 1 P.
- **Djenane A ., Chehat F., Jouve M.A.1993**. Les stratégies de mise en marché des céréales par les agriculteurs dans la région de Sétif. Rapport SEFCA. T III. 25p.
- **Doorenbos J., Pruitt WO. 1996**. Les besoins en eau des cultures. *Bulletin F.A.O. d'irrigation et de drainage No 24*.
- **Durand J.H., 1983.** Les sols irrigables, Agence de coopération culturelle et technique. P.U. France, 190 p.
- **Durant J.H. 1981**. Les sols irrigables, étude pédologique. *Ed. Agence de Coop. Cul. Et Tech. Presse Universitaire de France, Paris, 339 p.*

- **Edwards J.H., Thurlow D.L., Ruf M.E. 1992**. Tillage and crop rotation effects on fertility status of a Hapludult soil. Soil Sci. Soc. Am. J. (56): 1577–1582.
- **Ehdaie B. 1995**. Variation in Water-Use Efficiency and Its Components in Wheat: Pot and Field Experiments. *Crop Sci*., (35): 1617-1626.
- **El hassani TA., 1995**. Agronomie moderne : bases physiologiques et agronomiques de la production végétale. *Ed : Hatier, Paris, France 139 p.*
- **Eliard J.L. 1974**. Manuel d'agriculture générale. Bases de la production végétale. Ed. Baillière, Paris, 344 p.
- **Epstein J.D., Norlyn D.W., Ruch R.W., Kinsbury A.F., Cunningham A.F. 1980**. Wrona, Saline culture of crops: a genetic approach, *Science (2310) 399–404.*
- **Evans L., Wardlaw I., Fisher R.1987**. Crop physiology some cases histories .Ed: Cambridge University, *Great Britain. P 112.*
- **FAO. 2007 F**aostat Site des données statistiques de la FAO : www.faostat.fao.org
- **FAO. 2009**. CROPWAT (8.0). Software designed for the calculation of the right amount of water needed for the irrigation of crop fields www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html
- **FAO. 2012.** http://www.fao.org/nr/water/cropinfo_wheat.html
- **FAO.2006**. CROPWAT (8.0). Software designed for the calculation of the right amount of water needed for the irrigation of crop fields www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html.
- **FAO.2011**. CA Adoption Worldwide. FAO Aquastat Conservation Agriculture Website at: http://www.fao.org/ag/ca/6c.html.
- **Fenni M.2004**. Relation between Weed Grasses and life cycle of Sunn pest in the Sétif high plains (North-east of Algeria). Department of Agronomy, University Ferhat Abbes, Setif, 50P. *in: Second International Conference on Sunn Pest, ICARDA, Aleppo, Syria, P 49.*
- **Feuillet P.2000**. Le Grain de blé: composition et utilisation. Editions Quae, 2000 - 308 p.
- **Follett R.F., Peterson G.A. 1988**. Surface soil nutrient distribution as affected by wheat-fallow tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.,(52): 141–147.*
- **Gál A., Vyn T.J., Michéli E., Kladivko E.J., 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 Research (96):42-51.*
- **Gate P.1995**.Ecophysiologie du blé. *Ed. Lavoisier, Paris, pp78-81.*

- **Gautier J.1991**.Notation d'agriculture. *Ed. Gautier, Paris, pp575.*
- **Gill S.M., Akhtar M.S., Saeed Z. 2000**. Soil water use and bulk density as affected by tillage and fertilizer in rainfed wheat production system. *Pak. J. Biol. Sci., (3): 1223-1226.*
- **Giunta F., Motzo R., Deidda M.1992**. Effect of drought and yield components of durum wheat and triticale in a Mediterranean environment. *Field Crop Research*; (33): 399-409
- **Grandcourt M.C., Prats J. 1971**. Les céréales. *Ed. J.B Bailliers et Fils, 360 p*
- **Gréco J. 1978**. La défense des sols contre 1'érosion. *Paris: La Maison Rustique;* 183p
- **Gregory P.J., Simmonds L.P., Pilbeam C.J. 2000.** Soil type, climatic regime, and the response of water use efficiency to crop management. *Agron. Journal* (92): 814–820.
- **Guennouni A. 2007**. Le semis direct en cultures céréalières. Agriculture du Maghreb, (23) : 92-94
- **Haddad L. 2010**. Contribution à l'étude de la stabilité des rendements du blé dur (Triticum durum Desf.) sous climat méditerranéen. *Mémoire de Magister, Département Agronomie, Faculté des Sciences, UFAS, 11 p.*
- **Hamroun W.2006.** Thème état d'infestation de quelques régions céréalières d'Algérie par le Nématode a Kyste (Heterodera avinea). *Thèse de magister en Sciences Agronomiques. Institue Agronomique El-Harrach-Alger, P 15*.
- **Hannachi A., Fellahi Z. 2010**. Effets des résidus et du travail du sol sur le comportement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en milieu semi-aride. *Mémoire Ingénieur, Département Agronomie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, UFAS. 8p.*
- **Hasagawa PM., Bressan R.A., Handa S., Handa A.K.1984**. Cellular mechanisms of tolerance to water stress, *Hortic. Sci. 19 (3):371–376.*
- **Hauchinal R.R., Tandon J.P., Salimath P.M. 1993**. Variation and adaptation of wheat varieties to heat tolerance in peninsula India. In: wheat in heat stressed environments, Irrigated, dry areas rice-wheat farmings systems, Sanders D.A. and Hettel G.P. *Ed.:Mexico, D.F., CIMMYT, 175-183.*
- **Holland JM. 2004**. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: Reviewing the evidence. *Agric. Ecosyst. Environ*. (103) : 1–25.

- **Huang Y L., Chen B Fu., Huang A., Gong G.2005.** The wheat yield and water use efficiency in the Loss plateaus: Straw much and irrigation effects. *Agri.Water.Mag.; (72): 209-222*
- **Hufty A. 2005**. Introduction à la climatologie. Le rayonnement et la température, L'atmosphère, L'eau, Le climat et l'activité humaine. *Editions De Boeck Université, Canada. 541 pages.*
- **ITGC.2001**. Manuel illustré des grandes cultures à l'usage des vulgarisateurs et techniciens de l'agriculture ; Travail du sol.
- **Jouy L., Munier-Jolain N.2001**. Gestion de l'interculture, désherbage et entretien des cultures. *In ' Du Labour au Semis Direct : Enjeux Agronomiques'. Conférence-débat, Salon International du Machinisme Agricole, Paris, 21 février 2001. INRA/ITCF. Pp : 18-20*
- **Kadra N.1979**.Rôle des mauvaises dans la production céréalière et les effets des différentes méthodes.*in : 5eme conférence régionale des céréales d'hiver, IDGC, Céréaliculture, pp22-34*
- **Kameli A., Losel D.M. 1996**. Growth and sugar accumulation on durum wheat plant under water stress. *New Phytol, 132: 57-62.*
- **Kassam A., Friedrich T., Derpsch R., Lahmar R., Mrabet R., Basch G., Gonzàle zànchez E., Serraj R.2012**. Conservation agriculture in the dry Mediterranean climate , *Field Crops Research 132 (2012):7–1.*
- **Katerdji N., Mastrorilli, M.2009**-The effect of soil texture on the water use efficiency of irrigated crops: Results of a multi-year experiment carried out in the Mediterranean region. *Europ. J. Agronomy (30): 95–100.*
- **Kay B. D., Vanden Bygaart A. J. 2002.** Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil and Tillage Research* (66):107-118
- **Kelkouli M.2008**. Etude de l'effet de différentes techniques culturales utilises en grandes cultures sur la rétention du sol en eau dans les conditions du semi-aride, région du Haut Cheliff, cas du blé. *Thèse de Magister, INA ; El-Harrach (Alger) : 146P.*
- **Kellou R.2008**. Analyse du marché algérien du blé dur et les opportunités d'exportation pour les céréaliers français dans le cadre du pôle de compétitivité Quali-Méditerranée. Le cas des coopératives Sud Céréales, Groupe coopératif Occitan et Audecoop . *Master of Science, Masters n°93. CIHEAM-IAMM, Montpellier Pp 39-41.*

- **Kheyar M., Amara M., Harrad F. 2007**. La mécanisation de la céréaliculture algérienne. *Annales de l'INA, vol : 28, n : 1-2.*
- **Kirby E.J.M. 1985**. Significant stages of ear development in winter wheat. In : Day W & Atkin R.K. *Ed:Wheat Growth and Modeling. Plenum press, New York, pp 7-24.*
- **Köller, K. 2003**. Techniques of Soil Tillage, *In* A. El Titi, ed. Soil Tillage *in Agroecosystems. CRC Press LLC, Boca Raton, p. 1-25.*
- **Kravchenko AG., Thelen KD.2007**. Effect of winter wheat crop residue on no till corn growth and development. *Agron. J.* (99): 549-555.
- **Kribaa M., Hallaire V., Curmi P., Lahmar R.2001**. Effects of various cultivation methods on the structure and hydraulic properties of soil in semi-arid climate. *Soil & Tillage Research (60): 43-53.*
- **Kribaa M.2003**. Effet de la jachère sur les sols en céréaliculture pluviale dans les zones semi-aride méditerranéennes cas des hautes plaines setifiénnes en Algérie. *Thèse Doct. Université I.N.A. (2003) 121 p.*
- **Labreuche J., Viloingt T., Caboulet D., Daouze J.P., Duval R., Ganteil A., Jouy L., Quere L., Boizard H., J. Roger-Estrade. 2007**. Evaluation des impacts environnementaux des Techniques Culturales Sans labour (TCSL) en France. Partie I: La pratique des TCSL en France. ADEME.
- **Lahmar R. 2010**. Adoption of conservation agriculture in Europe. *Lessons of the Kassa project. Land use Policy (27): 4-10.*
- **Lahmar R., Bouzerzour H.2011**. Du mulch terreux au mulch organique. Revisiter le dryfarming pour assurer une transition vers l'agriculture durable dans les Hautes Plaines Setifiénnes. *Options méditerranéennes Série A*, (96) :99-105.
- **Lal R. 1983**. No-till farming: Soil and water conservation and management in the humid and sub-humid tropics. *IITA Monograph N°2, Ibadan, Niger*ia,43 p.
- **Lal R., Reicosky D.C., Hanson J.D. 2007**. Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. *Soil and Tillage Research (93):1-12.*
- **lbeyi A., Ustun H, Oweis T, Pala M.B., Benli H.2006**. Wheat water productivity and yield in a cool high land environment: Effect of early sowing with supplemental irrigation. *Agric. Water Manage., (82): 399-410.*
- **Lecarpentier C.1975**.L'évapotranspiration potentielle et ses implication géographiques *Annsales de Géograpghie (463) : 257-274.*

- **Liu Y., Luo Y. 2010**. A consolidated evaluation of the FAO-56 dual crop coefficient approach using the lysimeter data in the North China Plain. Agric. *Water Manage. (97): 31-40.*

- **Lopez-Bellido L., Fuentes M., Castillo J. E., Lopez-Garrido F. J., Fernandez E. J. 1996**. Long-term tillage, crop rotation, and nitrogen fertilizer effects on wheat yield under rainfed Mediterranean conditions. *Agron. J. (88):783-791.*

- **Lopez-Bellido L., Fuentes M., Castillo J.E., Lopez-Garrido F.J.2000.** Effects of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on wheat-grain quality grown under rainfed Mediterranean conditions. *Elsevier Sci. B.V 0378-4290.*
- **López-Bellido L., López-Bellido R.J., Castillo J.E., López-Bellido F.J., 2000**. Effects of tillage, crop rotation, and nitrogen fertilization on wheat under rainfed Mediterranean conditions.*Agron. J. (92) : 1054-1063.*
- **Machado S., Terie S., Rhinhart K., Ramig R.E. 2008**. Tillage effects on water use and grain yield of winter wheat and green pea in rotation. *Agron.J. (100): 154-162.*
- **Mass E.V. 1986.** Salt tolerance of plants, *Appl. Agric. Res. 1 : 12–26.*
- **Mayer S., Reeb C., Bosdeveix R. 2004**. Botanique Biologie et Physiologie vegetales. *Ed., Maloine, Paris, Pp : 461.*
- **Meijer A.D., Heitman J.L., White J.G., Austin R.E.2013**. Measuring erosion in long-term tillage plots using ground-based lidar. *Soil & Tillae Research (126): 1–10*
- **Mekhlouf A., Bouzerzour H. 2000**. Déterminisme génétique et associations entres le rendement et quelques caractères a variation continue chez le blé dur (*Triticum durum*, Desf). *Recherche agronomique (INRAA), (7): 37-49.*
- **Mekhlouf A., Bouzerzour H., Bemahammed A., Hadj Sahraoui A., Harkati, N. 2006**. Adaptation des variétés de blé dur (Triticum dirum, Desf.) au climat semi- aride. *Sécheresse, (17): 507-513.*
- **Mekiche A., Dahmani S., Hanifa-Meklich L.,Habbes S.2010**.Optimisation de la production d'orge en semis direct dans la region de meskiana(OUM EL BOUAGHI). *Options méditerranéennes Série A*, (96) :221226.
- **Mekliche A. et *al.*, 2000**. Effet du déficit hydrique sur la production de deux variétés de blé dur (*Triticum turgidium L.var.durum*) en région semi aride. *Options méditerranéennes, Durum wheat improvement in the in the mediterranean region : new challenges, séminaire méditerranéennes n°40.*

- **Menad A.2009**. Rythme de développement, utilisation de l'eau et rendement de l'orge (Hordeum vulgare L.) dans l'étage bioclimatique semi aride. *Thèse de magister : p12.*
- **Mermoud A.2006**. L'eau et le sol. www.extpdf.com/cours-physique-de-sol-a-mermoud-2006-pdf.html.
- **Merrill S.D., Black A.L., Bauer.A1996**. Conservation tillage effects on root growth of dry land spring wheat under drought. *Soil Sci. Soc. Am. J. (60):575–583.*
- **Monnier G. 1994**. Introduction à la simplification du travail du sol, p. 5-9, *In* G. Monnier, et al. *Eds. Simplification du travail du sol, INRA (Les Colloques n° 65) Ed, Paris, 16 mai 1991.*
- **Moule C.1998**.Céréales technique d'avenir, pyrotechnies spéciale, Bases Scientifique et techniques de la production des principales espèces de grande culture en France, *Ed : la maison rustique, Paris, 313p.*
- **Mrabet R. 2001**. Le Semis Direct : Une technologie avancée pour une agriculture durable au Maroc. MADREF/DERD/PNTTA. *Transfert de technologie en agriculture, (76): 1- 4.*
- **Mrabet R. 2004**. Le système de semis direct en milieu semi-aride marocain : aperçu sur les acquis de la recherche. *In Actes des deuxièmes rencontres méditerranéennes sur le semis direct. Tabarka- Tunisie- 19-22 janvier 2004.*
- **Mrabet R., 2008**. Conservation agriculture in Morocco: a research review. *In: Stewart, B.I., Fares Asfary, A., Belloum, A., Steiner, K., Friedrich, T. (Eds.), Proceedings of the International Workshop on Conservation Agriculture for Sustainable Land Management to Improve the Livelihood of People in Dry Areas. 7–9 May 2007, ACSAD and GTZ, Damascus, Syria, pp. 183–208.*
- **Mrabet R.2008**. No-Tllage systems for sustainable dryland agriculture in Morocco. *INRA Publication. Fanigra Ed., pp. 153.*
- **Mrabet R.2010** .Climate change and carbon sequestration in the Mediterranean basin: Contributions of no- tillage s ys tems *In: Bouzerzour H., Irekti H. & Vadon B. Quatrièmes rencontres méditerranéennes du semis direct. Options méditerranéennes. Série A.: Séminaires Méditerranéens (96): 165:184. Ed. CIHEAM Lavoisier. Paris, 251 p.*
- **Muller M., Schafflutz U., Chervet A., Sturny W.G., Zihlmann U., Weisskopf P. 2008**. Teneurs en humus après onze ans de semis direct ou de labour. *Revu suisse Agric. 40(1): 5-10.*

- **Munns A., Schachtman D.P. 1995** .The significance of a two-phase growth reponse to salinity in wheat and barley, , A.G. Condon, *Aust. J. Plant Physiol. (22) : 561–569.*
- **Munns R., Termaat A.1986**. Whol-plant responses to salinity,*Aust. J. Plant. Physiol. (13): 143–160.*
- **Murphy S.D., Clements D.R., Belaoussoff S., Kevan, P.G., Swanton C.J. 2006**. Promotion of weed species diversity and reduction of weed seedbanks with conservation tillage and crop rotation. *Weed Sci., (54): 69–77.*
- **Musy A., Soutter M. 1991**. Physique du sol. *Ed. Presses Polytechniques et universitaires Romandes. Lausanne, 331 p.*
- **Nicou R., Charreau C., Chopart J.L.1993** –Tillage and soil physical properties in semi – arid West Africa. *Soil and Tillage Research (27): 125-147.*
- **Ollier C., Poirée M. 1981**. Irrigation, les réseaux d'irrigation théorie, technique et économie des arrosages. *Ed. Eyrolles, Paris, 503 p.*
- **Oweis T., Pala M., Ryan J. 1999**. Management alternatives for improved durum wheat production under supplemental irrigation *in Syria. Eur.J. Agron., (11): 255-266.*
- **Oweis T., Zhang H., Pala M. 2000**. Water use efficiency of rainfed and irrigated bread wheat in a Mediterranean environment. *Agronomy Journal, (*92): 231–238.
- **Peaterson G.A., William R.D., Cole C.V. 1993**. Agroecosystem approch to soil and crop management research. *Soil Sci. Am.J. (57): 1354-1360.*
- **Pekrun C., El Titi A., Claupein, W. 2003**. Implications of soil tillage for crop and weed seeds. In: El Titi, A. *Ed : Soil Tillage in Agroecosystems. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, p 115–146.*
- **Pereira LS., Smith M., Allen R. 1998**. Les méthodes pratiques de calcul des besoins en eau. *In: Tiercelin JR, éditeur. Traité d'irrigation, Paris: E. Lavoisier; p: 206-231.*
- **Perez De Ciriza Gainza J. J.2004.** Essais comparatifs de quinze ans dans une région semi-aride (400 mm de pluie) en Navare (Espagne). *Actes des deuxièmes rencontres méditerranéennes sur le semis direct. Tabarka, Tunisie. Pp : 67-70.*
- **Perrier A.1973**. Bilan hydrique de l'assolement blé jachère et évaporation d'un sol nu en région semi-aride. *Plant réponse to dinamic factors; Ecology and conservation UNESCO pp 477, 487.*
- **Raynal G.1989.** Ennemis et maladies des prairies. Edition : Quae, Paris, France, P 40.
- **Razine M.2008.** Le semis direct des céréales : Expérience du Domaine Agricole de Sidi Kacem. MAPM/DERD/PNTTA. *Transfert de Technologie en Agriculture, (163) :1-4.*

- **Richard J. F.2004**. Agriculture de conservation et séquestration du carbone. *Actes des deuxièmes rencontres méditerranéennes sur le semis direct. Tabarka, Tunisie. Pp : 144-147.*
- **Ritchie J.T., Basso B.2007**. Water use efficiency is not constant when crop water supply is adequate or fixed: The role of agronomic management. *Europ. J. Agronomy , doi:10.1016/j.eja.2007.08.003*
- **Robert D., Gate P., Couvreur F. 1993**. Les stades du blé. *Editions ITCF. 28 p.*
- **Roose E., Zachee B., Drissa D.2006**. Labour ou semis direct dans les écosystèmes soudano-sahéliens (Cas du Cameroun et du Mali).*Ed : AUF, Paris.181p.*
- **Roudani M.1996**. Physiologie comparée de deux espèces de blé *(Triticum durum*, variété BenBachir et *T. aestivum*, variété Tanit) en relation avec les conditions de nutrition : métabolisme racinaire en milieu salé, *thèse, université Tunis-2, p. 180.*
- **Scheepens P., Hoevers R.2007**. La protection non chimique des cultures. *Edition : Agromisa Foundation, Wageningen, Netherlands, P 63.*
- **Sebillotte M.1990**. Le système de culture, un concept opératoire pour les agronomes. *In* Combe, L., Picard, D. *Ed : Un point sur... Les systèmes de, INRA éditions, Paris (France), pp. 165-196.*
- **Seguy S.2006**. le semis direct sur couverture végétale permanente (SCV) 2006. une solution alternative aux systèmes de cultures conventionnels dans les pays du sud. Groupe Agence Française de développement.
- **Sezen M., Yazar A. 2006**. Wheat yield response to line-source sprinkler irrigation in the arid Southeast Anatolia region of Turkey. *Agricultural Water Management, (81): 59-76.*
- **Sinclair T.R., Tanner C.B., Bennett J.M. 1984**. Water use efficiency in crop production. Bioscience, (34): 36-40.
- **Slama F.1986.** Effet du nitrate d'ammonium sur le degré de tolérance à une forte dose de NaCl de dix variétés de blé. *Colloque sur les végétaux en milieu aride, FST/ACCT Jerba (Tunisie), pp. 460-473.*
- **Smith E.G., Young D.L.2000.** Requiem for fallow in western North America. *Dans : Choices, 1, pp. 24- 25.*
- **Soltner D.2005**. Les bases de la production végétale *24eme Ed : coll.sci et Tec Agri, 77p.*
- **Soltner D.2005**. Les Grandes productions végétales *20 eme Ed : coll.sci et Tec Agri, 21-140p.*

- **Souici S.2010**. Effets des différents traitements culturaux sur les propriétés physiques d'un sol limono-argileux cultivé en blé dur, *Thèse de Magister, INA El-Harrach, 12p*.
- **Stewart BA. 1989**. Limited-Irrigation/Dryland Farming System for Efficient water Management in Semi-Arid Environments. *In: Proceedings of an IBSRAM Inaugural Workshop on Management of Vertisols for improved agricultural production. ICRISAT, India 1989; p:101-112.*
- **Stewart BA.1985**. Water conservation technology in rainfed and dryland agriculture. *Proceedings of the conference 'Water and water policy in world food supplies'. Texas A & M University, College Station, Texas, pp 335–359*
- **Tardieu F.1996**. Drought perception by plants do cells of droughted plants experience water stress,*Plant Growth Regulation, (20): 93-104.*
- **Tewolde H., Fernandez C. J., Erickson C. A.2006.** Journal of Agronomy and Crop Science Volume 192, Issue 2, pages 111–120.
- **Tolk J. A., Howell T. A. 2008**. Transpiration and Yield Relationships of Grain Sorghum Grown in a Field Environment .Agron. J. (3): 657-662.
- **Touahria O.2012**. Effets des résidus et du non-labour sur le comportement de la céréale sous conditions semi-arides des hautes plaines orientales. *Thèse de Magister, Département Agronomie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, UFAS. 38p*
- **Triplett G.B., Dick W.A. 2008**. No-tillage crop production: *A revolution in agriculture! Agron. J.(100): 153-165*
- **Tsague B. 2005**. http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement.
- **Turk L.1978**. Sècheresse du sol. Index physique des réserves d'eau et signification agronomique des déficits d'humidité dans le sol. Bulletin du BRGM:197-202.
- **Turner N.C.2004.** Agronomic options for improving rainfall-use efficiency of crops in dryland farming systems. *Exp. Botany Journal (*55): 2413-2425
- **Unger P., Ordie W., Jones R.,1998**.Long-term tillage and cropping systems affect bulk density and penetration resistance of soil cropped to dryland wheat and grain sorghum . *Elsevier Sci. B.V.Soil & Tillage Research 45 _1998-. 39–57.*
- **Unger P.W.1988**.Residue management effects on soil temperature. *Soil Sci. J.* (52):1777–1782
- **Unger PW., Baumhardt RL.1999**. Factors related to dryland grain sorghum yield increases 1939 through 1997. *Agron. J. (91): 870-875.*

- **Unger PW., Langdale GW., Papendick RI.1988**. Role of crop residues - improving water conservation and use. *In: Cropping Strategies for Efficient Use of Water and Nitrogen. Hargrove WL. (ed.) ASA, Special publication (51): 69-100.*
- **Weill A., Ph D., Duval M. J.2009.** Guide de gestion globale de la ferme maraîchère biologique et diversifiée *Agri-Réseau (22) :4411-4426.*
- **Wilhelm W., Bouzerzour H., Power J.F. 1989**. Soil disturbance-residue management effect on winter wheat growth and yield. *Agron. J. (81): 581-588.*
- **Wilhelm WW., Johnson JMF., Hatfield JL., Voorhees WB., Linden DR. 2004**. Crop and soil productivity response to corn residue removal: *A literature review. Agron. J.(96) :1-15.*
- **Yatchinovsky A. 1992**. Environnement et développement rural. Guide de la gestion des ressources naturelles. *Ed. Frison-Roche. Paris, 419p.*
- **Yoro G., Godo G. 1990**. Les méthodes de mesure de la densité apparente. Analyse de la dispersion des résultats dans un horizon donné. *Cah. Orstom, sér. Pédol.,Vol. XXV, N° 4, 1989-1990:423-429.*
- **Zadoks J., Chang T., Konzak C.1974**. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed research, 14(6):415–421.*
- **Zahedi, M., Jenner C. F. 2003**. Analysis of effects in wheat of high temperature on grain filling attributes estimated from mathematical models of grain filling. J. *Agric. Sci., (141): 203-212.*
- **Zeghida A. 2011**. Les bonnes pratiques agricoles.5eme Journée technique sur la production de légumineuses alimentaires. *Axium Série 5 :1p.*
- **Zhang J., Nguyen H.T., Blum A. 1999**. Genetic analysis of osmotic adjustment *in crop plants. J. Exp. Bot, 50: 291-302.*

Analyse du Comportement du Blé Tendre, Variété El WIFAK (*Triticum aestivum L.*) Conduite en Labour Conventionnel, Travail Minimum et Semis Direct Sur Les Hautes Plaines Sétifiennes

Résumé

Une expérimentation a été menée au cours de la campagne agricole 2011/2012 sur le site de l'Institut Technique de Grandes Cultures (ITGC, Sétif). L'objectif est d'évaluer la réponse du rendement du blé tendre (*Triticum aestivum L.*) conduite sur sol en labours contrastés. La variété EL WIFAK a été testée à l'effet du niveau de perturbation du sol par le travail conventionnel (TC), le travail minimum (TM) et par le non labour du sol ou semis direct (SD). Les traitements sont répartis dans un dispositif en blocs aléatoires à trois répétitions. L'analyse des résultats révèle que le rendement réalisé par la variété est significativement affecté par le mode de labour du sol. L'approche de l'étude est fondée sur l'amélioration de la production par la gestion durable du sol.

Mots clé
Rendement, labour conventionnel, semis direct, gestion durable, semi-aride

Behavior Analysis of Soft Wheat, Variety El WIFAK (*Triticum aestivum* L.) Conducted Under Conventional, Minimum Tillage Soil and Direct Seeding On The High Plains of Sétif

Abstract

An experimental study was conducted during the crop year 2011/2012 on the site of the Technical Institute of Field Crops (TIFC, Sétif). The objective is to evaluate the response of wheat yield (*Triticum aestivum* L.) under contrasting tillage soil. EL WIFAK variety was tested to the effect of soil disturbance level by the conventional tillage (CT), the minimum (TM) and the no-tillage of soil or direct seeding (SD). Treatments were distributed in a randomized block with three replications. Results analyses reveal that yield realized by the variety is significantly affected by the mode of soil tillage. The study approach is based on the improvement of production through the sustainable management of soil.

Keywords
Yield, conventional tillage, direct seeding, sustainable management, semi-arid

تحليل تجاوب القمح اللين تحت تأثير الحرث التقليدي،المبسط و الزرع المباشر في أعالي السهول المرتفعة سطيف

أجريت هذه التجربة في المعهد الوطني للمحاصيل الكبرى بسطيف خلال الموسم الزراعي2012/2011 .يهدف البحث إلى تقييم استجابة مردود القمح اللين المزروع تحت تأثير الحرث التباين. جرب صنف الوفاق لتأثير الحرث التقليدي، المبسط و الزرع المباشر. وزعت المعالجات بالتصميم العشوائي بالأجنحة بثلاثة تكرارات. أظهر تحليل النتائج أن المردود المحصل عليه متأثر معنويا بنوع الحرث المطبق. ترتكز الدراسة على تحسين الإنتاج بالتسيير المستدام للتربة.

الكلمات المفتاحية : المردود ،الحرث التقليدي ،الزرع المباشر ،التسيير المستدام ،الشبه جاف