

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/2012

MÉMOIRE

Présenté par : NADJEM Kamel.

Pour obtenir le diplôme de **Magister**

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

THÈME

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DES EFFETS DU SEMIS DIRECT SUR
L'EFFICIENCE D'UTILISATION DE L'EAU ET LE
COMPORTEMENT VARIETAL DE LA CULTURE DE BLE EN
REGION SEMI-ARIDE.**

Soutenu publiquement le 12/12/2012

Président	: BOUZERZOUR H.	Prof. à UFA Sétif.
Rapporteur	: FENNI M.	Prof. à UFA Sétif.
Examineur	: BENMAHAMMED A.	Prof. à UFA Sétif.
Examinatrice	: CHENNAFI H.	MCA. à UFA Sétif.
Invité	: MEKHLOUF A.	Docteur à UFA Sétif.

Année universitaire 2010/2011

Dédicace

Je dédie ce travail à mes chers parents.

NADJEM Kamel

Remerciements

Ce mémoire n'aurait jamais pu voir le jour sans le soutien que j'ai reçu de la part de nombreuses personnes. C'est avec un grand plaisir que je tiens donc à remercier :

Tout d'abord, comment exprimer ma profonde gratitude envers le Professeur **Fenni. Mohamed** qui m'a si formidablement encadré, soutenu et éclairé de ses lumières pendant ces deux années ? Son encadrement consiste en un savant dosage entre une bonne touche de liberté (qui m'a permis de vraiment m'approprier mon sujet et de suivre mes propres choix), un cadre solide et rassurant évitant une trop grande dispersion, ainsi qu'une disponibilité à toute épreuve (toujours prêt à répondre aux interrogations de tout genre).

Ma reconnaissance s'adresse au Professeur **Bouzerzour. H** de l'Université de Sétif qui a accepté de présider ce travail et pour ces conseils précieux.

Ma reconnaissance va également au Professeur **Benmhammed. A** et Docteur **Chennafi. H** qui ont accepté de prendre le temps pour être les rapporteurs de cet humble travail et pour leurs remarques constructives.

Je remercie très chaleureusement le Docteur **Mekhlouf. A** pour m'avoir guidé tout au long de ce travail et pour l'autonomie qu'il m'a laissée tout en sachant aux moments opportuns me donner des conseils judicieux.

Je remercie vivement M^r **Boudiar ridha** pour le bout de chemin que nous avons fait ensemble.

Mes remerciements vont aussi à tous les membres de l'**ITGC de Sétif** et l'**INRA de Sétif**.

Enfin, merci à tous ceux qui ont rendu possible ce travail, et même s'ils ne se retrouvent pas dans cette petite liste, ils sont dans mes pensées.

Liste des figures

Figure 01	Origines possibles du blé.	05
Figure 02	Echelle d'étude de l'efficacité d'utilisation de l'eau.	18
Figure 03	La texture du sol du site expérimental selon le diagramme de classification des textures (Groupe d'Étude des Problèmes de Pédologie Appliquée).	36
Figure 04	La stabilité structurale du sol du site expérimental selon le triangle des textures du Groupe d'Étude des Problèmes de Pédologie Appliquée.	36
Figure 05	Niveau de la matière organique du sol du site expérimental (Graphique des laboratoires SCPA).	37
Figure 06	Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien.	39
Figure 07	Carte pluviométrique de l'Algérie.	39
Figure 08	Moyennes mensuelles de la pluie et de la température de la campagne 2010/2011.	40
Figure 09	Opération du semis direct à l'aide du semoir SEMEATO.	41
Figure 10	Dispositif de mesure de la vitesse d'infiltration.	43
Figure 11	Quelques étapes durant la mesure de la teneur relative en eau (TRE).	45
Figure 12	Fosse creusée pour l'étude du système racinaire.	47
Figure 13	Comptage du système racinaire.	47
Figure 14	Valeurs moyennes de l'humidité pondérale du sol de différentes profondeurs au cours du cycle.	51
Figure 15	Évolution de l'humidité du sol au cours du cycle pour toutes les profondeurs.	52
Figure 16	L'évolution de la densité apparente.	53
Figure 17	Les deux horizons du profil cultural.	57
Figure 18	La durée de (semis-épiaison) et du cycle (jours) des génotypes étudiés.	61
Figure 19	Évolution de la surface foliaire des différents génotypes étudiés.	64
Figure 20	Évolution du poids spécifique foliaire des différents génotypes étudiés.	68
Figure 21	Évolution de la hauteur du chaume des différents génotypes dès l'épiaison.	70
Figure 22	Changement $\{\Delta HT(\%) = 100[1 - (HT_{\text{Epiaison}}/HT_{\text{Maturité}})]\}$ de la hauteur du chaume des variétés étudiées entre les stades épiaison et maturité.	72
Figure 23	Évolution du poids la matière sèche totale des différents génotypes.	74
Figure 24	Moyennes du poids la matière sèche totale des différents génotypes.	75
Figure 25	Evolution de la teneur en eau TRE(%) des feuilles après l'anthèse des différents génotypes étudiés.	78
Figure 26	L'EUE _{grain} et l'EUE _{biomasse} des différents génotypes étudiés.	82
Figure 27	Profondeur maximale de système racinaire des différents génotypes étudiés.	83
Figure 28	La fréquence du contact racinaire (%) des différents génotypes au niveau les deux horizons du profil cultural.	84
Figure 29	Représentation des variables mesurées sur le plan des axes 1 et 2 de l'ACP (Blé dur).	92
Figure 30	Représentation des génotypes de blé dur étudiés sur le plan des axes 1 et 2 de l'ACP.	92
Figure 31	Représentation des variables mesurées sur le plan des axes 1 et 2 de l'ACP (Blé tendre).	94
Figure 32	Représentation des génotypes de blé tendre étudiés sur le plan des axes 1 et 2 de l'ACP.	94

Liste des tableaux

Tableau 01	Consommation moyenne (kg/hab/an) algérienne de céréales, entre 1961-2005	03
Tableau 02	Stades de développement des céréales	09
Tableau 03	Avantages et inconvénients des semoirs directs	28
Tableau 04	Résultats d'analyse des échantillons du sol du site expérimental	35
Tableau 05	Carrés moyens de l'analyse de la variance de l'humidité pondérale du sol	49
Tableau 06	Comparaison des moyennes de l'humidité pondérale du sol pour les différentes profondeurs dans la date (0 JAS)	50
Tableau 07	Carrés moyens de l'analyse de la variance de la densité apparente du sol	52
Tableau 08	Carrés moyens de l'analyse de la variance de la porosité du sol	54
Tableau 09	Carrés moyens de l'analyse de la variance du nombre de plants levés/m ² des génotypes étudiés	58
Tableau 10	La durée de (semis-épiaison) et du cycle (jours) des génotypes étudiés	60
Tableau 11	Carrés moyens de l'analyse de la variance de la surface foliaire (cm ²) des génotypes de blé dur	61
Tableau 12	Comparaison des moyennes de la surface foliaire (cm ²) des génotypes de blé dur. Test Fisher (LSD), seuil de 5%	62
Tableau 13	Carrés moyens de l'analyse de la variance de la surface foliaire (cm ²) des génotypes de blé tendre	63
Tableau 14	Comparaison des moyennes de la surface foliaire (cm ²) des génotypes de blé tendre. Test Fisher (LSD), seuil de 5%	64
Tableau 15	Carrés moyens de l'analyse de la variance du poids spécifique foliaire des génotypes de blé dur	65
Tableau 16	Comparaison des moyennes du poids spécifique foliaire (cm ²) des génotypes de blé dur. Test Fisher (LSD), seuil de 5%	66
Tableau 17	Carrés moyens de l'analyse de la variance du poids spécifique foliaire des génotypes de blé tendre	67
Tableau 18	Comparaison des moyennes du poids spécifique foliaire des génotypes de blé tendre. Test Fisher (LSD), seuil de 5%	67
Tableau 19	Carrés moyens de l'analyse de la variance de la hauteur de la plante des génotypes de blé dur	68
Tableau 20	Comparaison des moyennes de la hauteur de la plante des génotypes de blé dur à l'épiaison et à la maturité. Test Fisher (LSD), seuil de 5%	69
Tableau 21	Carrés moyens de l'analyse de la variance de la hauteur de la plante des génotypes de blé tendre	69
Tableau 22	Comparaison des moyennes de la hauteur de la plante des génotypes de blé tendre. Test Fisher (LSD), seuil de 5%	70
Tableau 23	Carrés moyens de l'analyse du poids de la matière sèche totale (g/m ²)	72

	des génotypes de blé dur	
Tableau 24	Comparaison des moyennes du poids la matière sèche totale (g/m ²) des génotypes de blé dur dans la date (157 JAS). Test Fisher (LSD), seuil de 5%	73
Tableau 25	Carrés moyens de l'analyse du poids de la matière sèche totale (g/m ²) des génotypes de blé tendre	73
Tableau 26	Comparaison des moyennes du poids la matière sèche totale (g/m ²) des génotypes de blé tendre dans la date (168 JAS). Test Fisher (LSD), seuil de 5%	74
Tableau 27	Carrés moyens de l'analyse de la variance de la teneur relative en eau (%) des génotypes de blé dur	76
Tableau 28	Carrés moyens de l'analyse de la variance de la teneur relative en eau (%) des génotypes de blé tendre	77
Tableau 29	Carrés moyens de l'analyse de la variance du taux de déperdition d'eau des génotypes de blé dur	78
Tableau 30	Carrés moyens de l'analyse du taux de déperdition d'eau des génotypes de blé tendre	79
Tableau 31	Carrés moyens de l'analyse de l'EUE _{grain} et l'EUE _{biomasse} des génotypes de blé dur	80
Tableau 32	Comparaison des moyennes de l'EUE _{grain} et l'EUE _{biomasse} des génotypes de blé dur. Test Fisher (LSD), seuil de 5%	81
Tableau 33	Carrés moyens de l'analyse de l'EUE _{grain} et l'EUE _{biomasse} des génotypes de blé tendre	81
Tableau 34	Comparaison des moyennes de l'EUE _{grain} et l'EUE _{biomasse} des génotypes de blé tendre. Test Fisher (LSD), seuil de 5%	82
Tableau 35	Carrés moyens de l'analyse de la variance du rendement et ses composantes des génotypes de blé dur	85
Tableau 36	Coefficients de corrélation entre le rendement en grain et ses composantes des génotypes de blé dur	87
Tableau 37	Carrés moyens de l'analyse de la variance du rendement et ses composantes des génotypes de blé tendre	88
Tableau 38	Coefficients de corrélation entre le rendement en grain et ses composantes des génotypes de blé tendre	90

Abréviations

A	Assimilation du CO ₂
ACP	Analyse en composantes principales
%	Pour cent
C°	Degré Celsius
cm	Centimètre
cm²	Centimètre carré
cm³	Centimètre cube
CRAAQ	Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire au Québec
CIMMYT	Centre international pour l'amélioration du maïs et du blé
CV	Coefficient de variation
Da	Densité apparente
Ddl	Degré de liberté
EUE	Efficienc e d'utilisation de l'eau
EUE_{Grain}	Efficienc e d'utilisation de l'eau du grain
EUE_{Biomasse}	Efficienc e d'utilisation de l'eau de la biomasse
FAO	Food and Agriculture Organisation
G	Conductance stomatique
g	Gramme
g/m²	Gramme par mètre carré
GEPPA	Groupe d'étude des problèmes de pédologie appliquée
h	Heure
ha	Hectare
hab	Habitant
HPS	Hautes plaines sétifiennes
HI	Indice de récolte
H_p %	Humidité pondérale
HT	Hauteur
INRA	Institut national de la recherche agronomique
ITGC	Institut technique des grandes cultures
JAS	Jour après semis
K	Perméabilité
kg	Kilogramme
L	Longueur
l	Largeur
m	Mètre
mg	Milligramme
mm	Millimètre
mn	Minute
m³	Mètre cube
MAP	Mono ammonium phosphate
Mbb	Mohamed ben bachir
MO	Matière organique
NE	Nombre d'épi/m ²
NGE	Nombre de grains / épi
NGM²	Nombre de grains au m ²
p	Poids

Pi	Poids initial
PF	Poids frais
Ppds	La plus petite différence significative
PS	Poids sec
PSF	poids spécifique foliaire
PLL	Rendement en paille
PMG	Poids de mille grains
PT	Poids turgide
Q	Quantité
RDT	Rendement en grain
RDT éco	Rendement économique
S	Section
SAS	Statistical Analysis System
SF	Surface foliaire
T	Transpiration
TDE	Taux de déperdition d'eau
TRE	Teneur relative en eau
V	Volume

Sommaire

Introduction	01
CHAPITRE I-REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	
I.1. La culture de blé dans la région semi-aride algérienne (cas des hautes plaines sétifiennes (HPS))	
I.1.1 Importance de blé	03
I.1.2 Origine et historique du blé dur et du blé tendre	03
I.1.3 Le cycle de développement du blé	05
I.1.3.1 La période végétative	06
I.1.3.2 La période reproductrice	07
I.1.3.3 La période de formation et de maturation du grain	07
I.1.4 Contraintes à la production de la culture de blé dans la région	10
I.1.4.1 Les contraintes climatiques	10
I.1.4.1.1 Notion de stress	10
I.1.4.1.1.1 Le stress thermique	10
I.1.4.1.1.2 Le stress hydrique	12
I.1.4.1.1.3 Mécanisme d'adaptation des plantes au stress hydrique	12
I.1.4.2 Le matériel végétal	14
I.1.4.3 les techniques culturales	15
I.1.4.4 Les contraintes édaphiques	16
I.1.5 Critères de sélection de blé dans les régions semi arides	16
I.2. L'efficience d'utilisation de l'eau	
I.2.1 Définitions	18
I.2.2 Amélioration de l'efficience d'utilisation de l'eau	18
I.3. Le semis direct et la conduite conventionnelle de la culture de blé dans la région des hautes plaines sétifiennes (HPS)	
I.3.1 Contexte pédoclimatique de la région	21
I.3.2 Le système de culture	21
I.3.3 Conduite conventionnelle de la culture de blé dans la région	21
I.3.3.1 Le système de culture (céréale-jachère)	22
I.3.4 L'agriculture de conservation	24
I.3.4.1 Définition	24
I.3.4.2 L'essor de l'agriculture de conservation	24
I.3.4.3 Les piliers de l'agriculture de conservation	25
I.3.4.3.1 La couverture du sol	25
I.3.4.3.2 La rotation	26
I.3.4.3.3 Le semis direct	26
I.3.5 Effets du semis direct sur les composantes du milieu cultivé	29
I.3.5.1 Effets du semis direct sur la composante physique	29
I.3.5.2 Effets du semis direct sur la composante chimique	31
I.3.5.3 Effets du semis direct sur la composante biologique	32
CHAPITRE II-MATERIEL ET METHODE	

II.1 Conditions générales de la réalisation de l'expérimentation	35
II.1.1 Situation géographique	35
II.1.2 Le sol	35
II.1.3 Le climat	37
III.1.3.1 Températures	37
III.1.3.2 Précipitations	38
II.2 Mise en place de l'expérimentation	40
II.3 Paramètres étudiés	42
II.3.1 Analyse du sol	42
II.3.2 Humidité pondérale du sol (Hp, %)	42
II.3.3 la densité apparente	42
II.3.4 La porosité du sol	43
II.3.5 La vitesse d'infiltration	43
II.3.6 le profil cultural	44
II.3.7 Peuplement à la levée	44
II.3.8 Paramètres phénologiques	44
II.3.9 Paramètres morphologiques	44
II.3.9.1 La surface foliaire (SF, cm^2)	44
II.3.9.2 Le poids spécifique foliaire (PSF « mg/cm^2 »)	44
II.3.9.3 La hauteur de la plante (HT, cm)	45
II.3.9.4 Cinétique d'accumulation de la matière sèche totale	45
II.3.10 Paramètre physiologiques	45
II.3.10.1 La teneur relative en eau (TRE « % »)	45
II.3.10.2 Taux de déperdition d'eau (TDE « $\text{g} \cdot 10^{-3} / \text{cm}^2 / \text{mn}$ »)	46
II.3.11 L'efficacité d'utilisation de l'eau	46
II.3.12 Etude du comportement de système racinaire	46
II.3.13 Le rendement et ses composantes	47
II.4 Analyse des données	48

CHAPITRE III-RESULTATS ET DISCUSSION

III.1 L'état hydrique du sol	49
III.2 La densité apparente	52
III.3 La porosité du sol	54
III.4 La vitesse d'infiltration	54
III.5 Le Profil cultural	56
III.6 Installation de la culture de blé	58
III.7 Date d'épiaison et durée de cycle	59
III.8. Paramètres morphologiques	61
III.8.1 La surface foliaire (SF)	61
III.8.2 Le poids spécifique foliaire (PSF)	65
III.8.3 La hauteur de la plante (HT)	68
III.8.4 Le poids de la matière sèche totale (g/m^2)	72
III.9. Paramètres physiologiques	76
III.9.1 La teneur relative en eau	76
III.9.2 Taux de déperdition d'eau	78
III.10 L'efficacité d'utilisation de l'eau	79
III.11 Étude du comportement de système racinaire	83
III.11.1 La profondeur d'enracinement	83
III.11.2 La fréquence de contact racinaire	84

III.12 Le rendement et ses composantes	85
III.13 Typologie variétale	90
Conclusion	95
Références bibliographiques	97
Annexes	98
Résumé	

Introduction

Introduction

De type méditerranéen, le climat algérien se caractérise principalement par la variabilité intra et inter-annuelle des précipitations et du régime thermique. Les stress climatiques, comme le déficit hydrique, les températures extrêmes, deviennent très communs à mesure qu'on pénètre à l'intérieur du pays. Ces stress affectent le développement et la production des cultures (Baldy, 1974; Mekhlouf *et al.*, 2006) particulièrement la culture des céréales (Baldy, 1974; Abbassenne, 1997; Fellah *et al.*, 2002; Annichiarico *et al.*, 2002; Annichiarico *et al.*, 2006). Ceci est surtout valable pour les hautes plaines orientales, qui sont habituellement présentées comme un terroir dominé par les céréales pluviales (Abbas et Abdelguerfi, 2005). Les stress climatiques imposent une limite à l'expression du potentiel de production des cultivars utilisés (Amokrane *et al.*, 2002).

Les problèmes de fertilité des sols labourés ont conduit au développement des techniques alternatives au labour, regroupées sous le terme de travail du sol de conservation (Unger 1983; Köller, 2003). Ces techniques couvrent une large gamme d'opérations allant du semis direct au travail du sol réduit sans retournement de la couche de sol. Plusieurs études scientifiques attirent l'attention sur les conséquences du système conventionnel et soulignent l'intérêt économique et le respect de l'environnement qui caractérisent la technologie du semis direct et des techniques culturales simplifiées. L'impact négatif du *dry-farming* sur les agroécosystèmes céréaliers, semble pourtant faire l'unanimité des chercheurs (Lahmar et Ruellan, 2007). Kribaa *et al.*, (2001) mentionnent que le système jachère-céréale, tel que pratiqué sur les hautes plaines orientales, dégrade la structure de l'horizon labouré, réduit la matière organique, l'infiltration, la redistribution et le stockage des eaux de pluie dans le profil du sol.

Nombre d'expériences et de résultats de recherches venant du pourtour méditerranéen soulignent l'importance de l'agriculture de conservation à travers les améliorations qui se produisent dans les sols et font de l'agriculture de conservation une alternative vraisemblable au *dry-farming* (Lahmar et Ruellan, 2007). Cependant, l'adoption des techniques de l'agriculture de conservation a des conséquences sur le choix des rotations, l'utilisation de cultures intermédiaires, la gestion des résidus, la sélection des variétés et la densité de semis, le contrôle des ravageurs et des adventices, la gestion de la fertilité du sol et sur le choix du bon équipement (Labreuche *et al.*, 2007; Lal *et al.*, 2007). Il est possible de produire sans labourer dans le contexte de l'aridité méditerranéenne tout en assurant la préservation des ressources naturelles et de l'environnement (Wilhelm *et al.*, 1982; Kribaa *et al.*, 2001; Klein *et al.*, 2002; Saber et Mrabet, 2002; Yalcin *et al.*, 2005). Le développement de la technologie

du semis direct est générique d'innovations qui stabilisent les rendements, réduisent les charges, conservent mieux l'eau et préservent la fertilité du sol.

L'amélioration de la production végétale dans les régions semi-arides passe par l'amélioration des techniques de conservation de l'eau, du sol d'une part, et par l'utilisation du matériel végétal capable de résister à la sécheresse d'autre part (Léifi, 1997). Maximiser l'efficacité de l'utilisation de l'eau du sol, accroître la productivité de la biomasse par unité d'eau utilisée et améliorer la conversion de la biomasse végétative en rendement économique sont les objectifs recherchés en zones semi-arides (Krishnamurthy *et al.*, 2007). L'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau, notée dans la littérature anglo-saxonne par Water Use Efficiency (WUE), pourrait être obtenue notamment par l'amélioration génétique des cultures permettant l'augmentation du rapport biomasse/transpiration et/ou par des pratiques agricoles maximisant la transpiration et également moyennant la réduction des pertes d'eau par ruissellement, par drainage ou percolation profonde ou par évaporation (Cook et Veseth, 1991; Gregory *et al.*, 2000). En climat semi-aride, l'évapotranspiration du sol est une source majeure de perte d'eau (Van Damme, 1990). En début du cycle l'évaporation directe du sol contribue pour plus de 60 % à l'évapotranspiration (Cooper *et al.*, 1987).

Ce travail est une modeste contribution à l'étude des effets du semis direct sur l'efficacité d'utilisation de l'eau et le comportement de quelques variétés de blé conduites en pluvial dans la région. À travers cette étude nous proposons le semis direct comme un système de culture alternatif aux pratiques de conduite de la céréaliculture dans la région des hautes plaines orientales où l'eau reste le facteur limitant l'obtention des rendements acceptables de la culture de blé, donc, le génotype recherché est celui qui valorise au mieux les quantités d'eau pluviale reçues. Nos objectifs sont :

- ✓ L'évaluation à court terme de la technique du semis direct comme conservatrice de l'eau du sol à partir l'étude de quelques paramètres édaphiques (l'évolution des stocks hydriques du profil, la vitesse d'infiltration, la densité apparente et le profil cultural) ;
- ✓ L'étude de l'efficacité d'utilisation de l'eau et le comportement d'une collection de variétés de blé (dur et tendre) dans le cadre de la technique du semis direct sous les conditions climatiques de la région semi-aride (cas des hautes plaines sétifiennes).

Revue bibliographique

CHAPITRE I – REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. La culture de blé dans la région semi-aride algérienne (cas des hautes plaines sétifiennes)

I.1.1. Importance de blé

Les céréales occupent à l'échelle mondiale une place primordiale dans le système agricole. Elles sont considérées comme une principale source de la nutrition humaine et animale (Slama *et al.*, 2005). Parmi ces céréales, le blé occupe la première place pour la production mondiale et la deuxième après le riz, comme source de nourriture pour les populations humaines, il assure 15% de ses besoins énergétiques (Bajji, 1999). Le blé est cultivé principalement dans les pays du bassin méditerranéen à climat arides et semi-arides là où l'agriculture est dans la plus mauvaise passe. Ces régions se caractérisent par l'augmentation de la température couplée à la baisse des précipitations, en plus la désertification et la sécheresse (Abeledo *et al.*, 2008).

Actuellement, l'Algérie est un grand importateur de blé et se trouve dépendante du marché international. Cette situation risque de se prolonger à plusieurs années, faute de rendements insuffisants et des besoins de consommation sans cesse croissants (Tableau 01) devant une forte évolution démographique (Chellali, 2007).

Tableau 01. Consommation moyenne (kg/hab/an) algérienne de céréales, entre 1961-2005 (FAO, 2007).

Périodes	1961	1970	1980	1990	2000	2003	2005
Consommation	110	120	182	193	190	201	215

I.1.2. Origine et historique du blé dur et du blé tendre

Trois céréales blé, riz et maïs constituent la base alimentaire des populations du globe. Durant le développement de la civilisation indo-européenne, le blé est devenu la principale céréale des peuples occidentaux sous climat tempéré (Henry et De Buyser, 2001).

Le blé est l'une des principales ressources alimentaires de l'humanité. La saga du blé accompagne celle de l'homme et de l'agriculture ; sa culture précède l'histoire et caractérise l'agriculture néolithique, née en Europe il y a 8000 ans. La plus ancienne culture semble être le blé dur dans le croissant fertile de la Mésopotamie (Feillet, 2000).

Le blé tendre est apparu entre 5000 et 6000 ans avant Jésus-Christ dans le croissant fertile puis s'est dispersé à partir de la Grèce en Europe (Doussinault *et al.*, 1992). C'est à partir de cette zone que les blés ont été diffusés vers l'Afrique, l'Asie et l'Europe. La route la

plus ancienne de diffusion des céréales vers les pays du Maghreb fut à partir de la péninsule italienne et de la Sicile (Bonjean, 2001 *in* Boulal *et al.*, 2007).

En Algérie, Léon Ducellier (1878-1937) en particulier, parcourant le blé, fit au début du siècle le recensement d'une flore mal connue. Il découvrit et analysa les nombreuses variétés, qui peuplaient les champs cultivés, recueillit les échantillons les plus caractérisés, les plus productifs, les plus résistants à la sécheresse ou à quelques maladies. Le blé tendre était inconnu en Afrique du Nord avant l'arrivée des français (Lery, 1982). Les blés ont d'abord évolué en dehors de l'intervention humaine, puis sous la pression de sélection qu'ont exercée les premiers agriculteurs (Henry et de Buyser, 2001).

D'après Sears (1954) et Okamoto (1962) *in* Auriau *et al.*, (1992), Belaid (1996), Feillet (2000) et Henry et De Buyser (2001), les deux espèces des céréales les plus cultivées sont :

- ✓ le blé dur (*Triticum durum*) : AABB (2 n = 4 x = 28) Tétraploïde ;
- ✓ le blé tendre (*Triticum aestivum*) : AABB DD (2 n = 6 x = 42) Hexaploïde.

La filiation génétique des blés est complexe et incomplètement élucidée. Le croisement naturel *Triticum monococcum* (génome A) X *Aegilops* (*bicornis*, *speltoides*, *longissima* ou *searsii*) (génome B) a permis l'apparition d'un blé dur sauvage de type AABB (*Triticum turgidum* ssp. *dicoccoïdes*), qui a ensuite progressivement évolué vers *Triticum turgidum* ssp. *Dicoccum*, puis vers *Triticum durum* [blé dur cultivé] (Figure 01). Les blés tendres cultivés (AABBDD) seraient issus d'un croisement, également naturel, entre *Triticum turgidum* ssp. *dicoccum* (AABB) et *Aegilops squarrosa* (DD) (Figure 01) (Feillet, 2000; Henry et De Buyser, 2001).

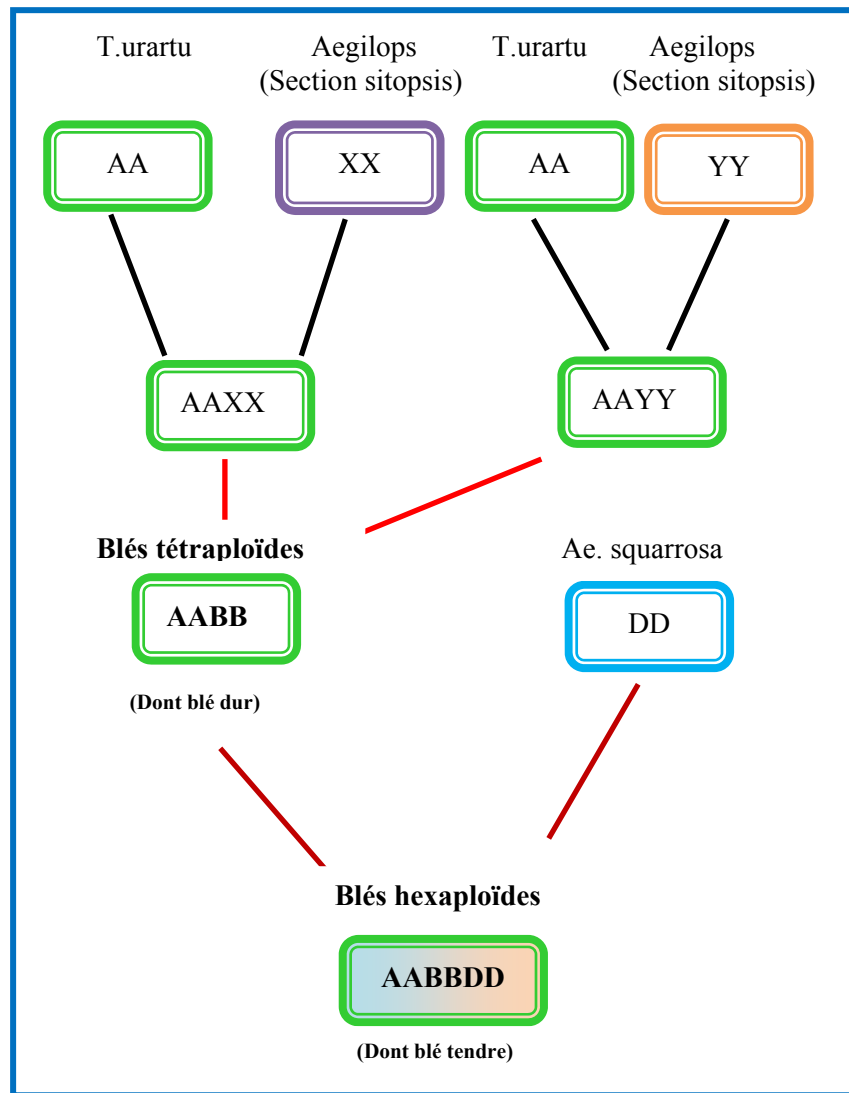


Figure 01. Origines possibles du blé d'après Sears (1954) et Okamoto (1962) in Auriau *et al.*, (1992).

I.1.3. Le cycle de développement du blé

Afin de caractériser le cycle de développement du blé, différentes échelles de notation ont été développées, portant soit sur des changements d'aspect externe, soit sur les modifications d'aspect interne des organes reproducteurs.

- ✓ L'échelle de Jonard et Koller, (1950) utilisée pour reconnaître les stades par des changements d'aspect externe (Levée - Montaison).
- ✓ L'échelle de Zadoks *et al.*, (1974) utilisée pour reconnaître les stades par des modifications d'aspect interne (Différentiation de l'épi : Stade épi 1 cm) (Gate, 1995).

Le cycle biologique du blé est une succession de périodes subdivisées en phases et en stades.

I.1.3.1 La période végétative

Elle se caractérise par un développement strictement herbacé et s'étend du semis jusqu'à fin tallage. Elle se divise en deux phases :

A. La phase germination – levée

La germination de la graine se caractérise par l'émergence du coléorhize donnant naissance à des racines séminales et du coléoptile qui protège la sortie de la première feuille fonctionnelle. La levée se fait réellement dès la sortie des feuilles à la surface du sol. Au sein d'un peuplement, la levée est atteinte lorsque la majorité des lignes de semis sont visibles (Gate, 1995). Durant la phase semis levée, l'alimentation de la plante dépend uniquement de son système racinaire primaire et des réserves de la graine.

Les principaux facteurs édaphiques qui interviennent dans la réalisation de cette phase sont, la chaleur, l'aération et l'humidité (Eliard, 1979). Les caractéristiques propres à la graine comme la faculté germinative et la quantité de réserves (taille des graines) jouent aussi un rôle déterminant. En effet, les plus grosses graines lèvent les premières et donnent des plantules plus vigoureuses (Masle-Meynard, 1980). De plus la composition des réserves (teneur en protéines) agit favorablement sur la vitesse de la germination-levée (Evans et Rawson, 1975).

B. La phase levée – tallage

La production de talles commence à l'issue du développement de la troisième feuille (Moule, 1971). L'apparition de ces talles se fait à un rythme régulier à celui de l'émission des feuilles. A partir des bourgeons situés à l'aisselle des talles primaires initiées à la base du brin maître, les talles secondaires peuvent apparaître et être susceptibles d'émettre des talles tertiaires. Le nombre de talles produites dépend de la variété, du climat, de l'alimentation minérale et hydrique de la plante, ainsi que de la densité de semis (Masle-Meynard, 1980).

La nutrition minérale notamment azotée est faible jusqu'au stade 2-3 feuilles car elle est satisfaite par les ressources de la graine et l'azote minéral présent dans le sol. Le facteur nutritionnel peut modifier la vitesse du tallage herbacé, la durée du tallage et le nombre de talles (Austin et Jones, 1975). Quand le tallage est excessif, les besoins en eau sont très importants, alors que la plupart des talles restent stériles. La fin du tallage représente la fin de la période végétative, elle marque le début de la phase reproductive, conditionnée par la photopériode et la vernalisation qui autorisent l'élongation des entre-nœuds (Gate, 1995).

I.1.3.2 La période reproductrice

A. La phase montaison – gonflement

La montaison débute à la fin du tallage, elle est caractérisée par l'allongement des entre-nœuds et la différenciation des pièces florales. A cette phase, un certain nombre de talles herbacées commence à régresser alors que, d'autres se trouvent couronnées par des épis. Pendant cette phase de croissance active, les besoins en éléments nutritifs notamment en azote sont accrus (Clement-Grancourt et Prats, 1971). La montaison s'achève à la fin de l'émission de la dernière feuille et des manifestations du gonflement que provoquent les épis dans la gaine.

B. La phase épiaison – floraison

Elle est marquée par la méiose pollinique et l'éclatement de la gaine avec l'émergence de l'épi. C'est au cours de cette phase que s'achève la formation des organes floraux (l'anthèse) et s'effectue la fécondation. Cette phase est atteinte quand 50 % des épis sont à moitié sortis de la gaine de la dernière feuille (Gate, 1995). Elle correspond au maximum de la croissance de la plante qui aura élaboré les trois quarts de la matière sèche totale et dépend étroitement de la nutrition minérale et de la transpiration qui influencent le nombre final de grains par épi (Masle-Meynard, 1980).

I.1.3.3 La période de formation et de maturation du grain

A. Grossissement du grain

Cette phase marque la modification du fonctionnement de la plante qui sera alors orientée vers le remplissage des grains à partir de la biomasse produite. Au début, le grain s'organise, les cellules se multiplient. Les besoins des grains sont inférieurs à ce que fournissent les parties aériennes (plus de 3/4 de la matière sèche sont stockés au niveau des tiges et des feuilles). Par la suite, les besoins augmentent et le poids des grains dans l'épi s'élève, alors que la matière sèche des parties aériennes diminue progressivement. Seulement 10% à 15% de l'amidon du grain peut provenir de réserves antérieures à la floraison (Boulelouah, 2002). A l'issue de cette phase, 40 à 50 % des réserves se sont accumulées dans le grain qui, bien qu'il ait atteint sa taille définitive, se trouve encore vert et mou, c'est le stade «grain laiteux ». L'autre partie des réserves se trouve encore dans les tiges et les feuilles qui commencent à jaunir. Les réserves du grain proviennent en faible partie de la photosynthèse nette qui persiste dans les dernières feuilles vertes. Chez les variétés tardives, cette quantité est de 12 % contre 25 % chez les précoces. La majeure partie des réserves

accumulées vient des tiges et les feuilles jaunissantes, mais non encore desséchées (Boulelouah, 2002).

B. Maturation du grain

La phase de maturation succède au stade pâteux (45 % d'humidité). Elle correspond à la phase au cours de laquelle le grain va perdre progressivement son humidité en passant par divers stades (Gate, 1995). Elle débute à la fin du palier hydrique marqué par la stabilité de la teneur en eau du grain pendant 10 à 15 jours. Au-delà de cette période, le grain ne perdra que l'excès d'eau qu'il contient et passera progressivement aux stades « rayable à l'angle » (20 % d'humidité) puis, « cassant sous la dent » (15-16 % d'humidité) (Gate, 1995).

Tableau 2. Stades de développement des céréales. Échelles de : Feekes, (1954) et de Zadoks, (1974).

Stade	Feekes	Zadoks	Caractéristiques
Levée	1	7	Sortie du coléoptile
		10	1 ^{ère} feuille traversant le coléoptile
		11	1 ^{ère} feuille étalée
		12	2 ^{ème} feuille étalée
		13	3 ^{ème} feuille étalée
Début tallage	2	21	Formation de la 1 ^{ère} talle
Plein tallage	3	22	
Fin tallage	4	23	2 à 3 talles
		24	
		25	
Épi à 1 cm	5	30	Sommet de l'épi distant à 1 cm du plateau du tallage
1-2 nœuds	6	31	1 nœud
	7	32	2 nœuds (élongation de la tige)
Gonflement	8	37	Apparition de la dernière feuille
l'épi gonfle la	9	39	Ligule juste visible (méiose male)
gaine de la dernière feuille	10	45	Gaine de la dernière feuille sortie
Épiaison	10-1	49-51	Gaine éclat
	10-2	53	¼ épiaison
	10-3	55	½ épiaison
	10-4	57	¾ épiaison
	10-5	59	Tous les épis sortis
Floraison	10-5-1	61	Début floraison
	10-5-2	65	Demi-floraison
	10-5-3	69	Floraison complète
Formation du grain	10-5-4	71	Grain formé
	11-1	75	Grain laiteux
	11-2	85	Grain pâteux
	11-3	91	Grain jaune
	11-4	92	Grain mûre

I.1.4 Contraintes à la production de la culture de blé dans la région des hautes plaines sétifiennes

I.1.4.1 Les contraintes climatiques

I.1.4.1.1 Notion de stress

Selon les définitions, le stress chez les plantes apparaît avec des significations différentes en biologie, qui convergent principalement en attribuant le stress à n'importe quel facteur environnemental défavorable pour une plante (Levitt, 1982). Tsimilli-Michael *et al.*, (1998) considèrent que le stress a une signification relative, avec un contrôle comme état de référence, ils considèrent le stress comme une déviation du contrôle à une contrainte. Selon Jones *et al.*, (1989), un stress désigne à la fois l'action d'un agent agresseur et les réactions qu'il entraîne dans l'organisme agressé, une force qui tend à inhiber les systèmes normaux. D'autre part, les stress environnementaux nés de la fluctuation des facteurs abiotiques (sécheresse, salinité, température) affectent les conditions de croissance, le développement et le rendement des plantes (Madhava Rao *et al.*, 2006).

I.1.4.1.1.1 Le stress thermique

A. Les hautes températures

Dans les zones arides et semi-arides d'altitude, le stress thermique peut intervenir même en début du cycle. Karou *et al.*, (1998) observent une forte réduction du nombre de plantes levées par unité de surface, suite aux effets des hautes températures automnales. Ces effets s'amenuisent à mesure que le semis est fait tardivement (Fischer, 1985).

L'effet des hautes températures au semis se manifeste par une réduction de la longueur du coléoptile (Hazmoune, 2000). Rawson (1988) réussit à montrer que l'effet pénalisant de l'élévation de la température est surtout dû au fait que la plante n'arrive pas à absorber les éléments nutritifs et l'eau et les utiliser au rythme imposé par le stress thermique. Hauchinal *et al.*, (1993) remarquent une réduction du rendement des semis tardifs, liée à une diminution du nombre d'épi et du poids moyen du grain, causée par les effets des hautes températures. Ils notent aussi que l'effet pénalisant du stress thermique se matérialise par une accélération du développement et une réduction des dimensions des organes constitutifs de la plante. La résultante est un effet négatif sur la productivité globale de la plante. Wardlaw *et al.*, (1989) montrent que la baisse du rendement due au stress terminal, est corrélée positivement à la réduction du poids moyen du grain et à la variation du nombre de grain/m². L'élévation de la température, tard au cours du cycle de développement de la plante, et

particulièrement après anthèse, est une contrainte à l'augmentation des rendements en zone semi-aride (Bouzerzour et Benmahammed, 1994).

L'effet des hautes températures se manifeste par une accélération de la sénescence foliaire et l'arrêt de la croissance du grain (Dakheel *et al.*, 1993). Wardlaw *et al.*, (1989) montrent que la température optimale pour le développement et le remplissage du grain, varie de 12 à 15 °C pour de nombreux géotypes de céréale à paille. Ils observent une diminution de 3 à 5 % du poids du grain pour chaque degré d'augmentation de la température à partir de la base des 12 à 15 °C. Dans l'écart des moyennes de températures de 12 à 15 °C, une réduction de la durée de remplissage est compensée par une augmentation du taux de remplissage, avec pour effet peu de variation du poids moyen du grain (Wardlaw *et al.*, 1989).

B. Les basses températures

L'altitude et un climat de type méditerranéen imposent un hiver très froid et pluvieux, le froid hivernal limite la croissance au moment où l'eau est disponible et allonge le cycle de la plante pour l'exposer à la sécheresse du début de l'été (Chenaffi *et al.*, 2006). Les dégâts de gel tardif sont très fréquents sur céréales, rendant l'adoption des variétés précoces trop risquée (Bouzerzour et Benmahammed, 1994). L'adoption de la stratégie de l'esquive comme moyen pour échapper au stress thermique de fin de cycle, est peu opérante dans le cas où les géotypes précoces sélectionnés ne sont pas génétiquement résistants au froid (Mekhlouf *et al.*, 2006).

L'abaissement brutal de la température, en dessous de 0 °C, provoque de nombreuses perturbations au sein du végétal. Lorsque la température chute fortement, des cristaux de glace se forment dans les espaces intercellulaires déshydratant les cellules dont l'eau est appelée vers ces espaces. La membrane plasmique perd sa perméabilité spécifique et il y a perturbation du fonctionnement cellulaire (Levitt, 1982).

La réversibilité du phénomène n'a lieu que si la structure cellulaire n'est pas fortement endommagée. Lors du dégel, les cellules intactes se réhydratent et redeviennent fonctionnelles (Blouet *et al.*, 1984). La déshydratation des cellules s'accompagne d'une augmentation de la concentration en substances organiques, et en sels minéraux.

D'après Passioura (1996), si le froid persiste, il y a dessèchement foliaire. Les basses températures réduisent la croissance durant l'hiver alors que les plantes peuvent utiliser plus efficacement l'eau stockée dans le sol suite à la faible demande climatique qui caractérise cette période.

I.1.4.1.1.2 Le stress hydrique

Le stress hydrique est l'un des stress environnementaux les plus importants, affectant la productivité agricole autour du monde (Boyer, 1982). Il occupe et continuera d'occuper une très grande place dans les chroniques agro-économiques. C'est un problème sérieux dans beaucoup d'environnements arides et semi-arides, où les précipitations changent d'année en année et où les plantes sont soumises à des périodes plus ou moins longues de déficit hydrique (Boyer, 1982). Il existe de nombreuses définitions du stress hydrique. En agriculture, il est défini comme un déficit marqué et ce compte tenu des précipitations qui réduisent significativement les productions agricoles par rapport à la normale pour une région de grande étendue (Mckay, 1985 *in* Bootsma *et al.*, 1996). En effet, on assiste à un stress hydrique lorsque la demande en eau dépasse la quantité disponible pendant une certaine période ou lorsque sa mauvaise qualité en limite l'usage (Madhava Rao *et al.*, 2006).

I.1.4.1.1. 3 Mécanismes d'adaptation des plantes au stress hydrique

Pour lutter contre le manque d'eau, les plantes développent plusieurs stratégies adaptatives qui varient en fonction de l'espèce et des conditions du milieu (esquive, évitement et tolérance) (Turner, 1986 a). La résistance d'une plante à une contrainte hydrique peut être définie, du point de vue physiologique, par sa capacité à survivre et à s'accroître et du point de vue agronomique, par l'obtention d'un rendement plus élevé que celui des plantes sensibles (Madhava Rao *et al.*, 2006). La résistance globale d'une plante au stress hydrique apparaît comme le résultat de nombreuses modifications phénologiques, anatomiques, morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui interagissent pour permettre le maintien de la croissance, du développement et de production (Hsissou, 1994).

A. Adaptation phénologique

Pour éviter les périodes difficiles pour la croissance et le développement, certaines variétés accomplissent leur cycle de développement avant l'installation de stress hydrique.

La précocité constitue donc un important mécanisme d'évitement au stress hydrique de fin de cycle (Ben Naceur *et al.*, 1999). Dans ces conditions, les paramètres phénologiques d'adaptation ou paramètres de précocité définissent le calage du cycle vis-à-vis des contraintes environnementales (Ben Naceur *et al.*, 1999). La précocité assure une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau. En effet, en produisant la biomasse la plus élevée, les génotypes à croissance rapide et à maturité précoce utilisent mieux l'eau disponible et ils sont moins exposés aux stress environnementaux que les génotypes tardifs (Bajji, 1999). Le rendement en grains est positivement corrélé à la précocité d'épiaison (Gonzalez *et al.*, 1999).

En effet, les variétés qui ont une vitesse de croissance élevée ont la capacité de mieux utiliser les sources nutritives à la fin du cycle de développement lorsque celles-ci deviennent limitantes (Poorter, 1989). La précocité à l'épiaison peut donc être utilisée comme critère de sélection pour améliorer la production dans les zones sèches. C'est l'un des traits les plus importants dans l'adaptation des plantes au stress hydrique (Ben Salem *et al.*, 1997).

B. Adaptation morphologique

L'effet du stress hydrique peut se traduire, selon la stratégie adaptative de chaque espèce ou génotype, par des modifications morphologiques pour augmenter l'absorption d'eau et pour diminuer la transpiration et la compétition entre les organes pour les assimilés. Ces modifications affectent la partie aérienne ou souterraine (Bajji, 1999).

✓ Au niveau de la plante

La diminution de la surface foliaire des feuilles et du nombre de talles est considérée comme une réponse ou adaptation au manque d'eau (Blum, 1996). Chez le blé, l'enroulement des feuilles chez certaines variétés peut être considéré comme un indicateur de perte de turgescence en même temps qu'un caractère d'évitement de la déshydratation, il entraîne une diminution de 40 à 60 % de la transpiration (Amokrane *et al.*, 2002). La longueur des barbes est un paramètre morphologique qui semble également étroitement lié à la tolérance au stress hydrique (Hadjichristodoulou, 1985). La hauteur de la plante apparaît comme un critère de sélection important particulièrement dans les zones arides, ceci s'expliquerait par le fait qu'une paille haute s'accompagne souvent d'un système racinaire profond ce qui conférerait à la plante une capacité d'extraction de l'eau supérieure (Bagga *et al.*, 1970). Les plantes à enracinement superficielle et peu dense souffrent plus du déficit hydrique que ceux à enracinement profond (El hassani et Persoons, 1994).

✓ Au niveau structurel

Une des principales modifications structurelles observées sur des plantes ayant subi un stress hydrique, concerne l'altération des propriétés physico-chimiques des parois cellulaires (Dixon et Paiva, 1995). Ces changements peuvent être induits par des modifications au niveau des enzymes impliquées dans la biosynthèse des monolignols ou dans leur assemblage dans la paroi. L'augmentation de l'expression de ces gènes peut être reliée à l'arrêt de la croissance et à l'épaississement de la paroi (Dixon et Paiva, 1995).

Un autre composant majeur de la paroi correspond aux composés issus de la polymérisation des sucres (cellulose et hémicellulose). Xu *et al.*, (1996) ont mis en évidence des modifications au niveau de l'hémicellulose via, notamment, la modulation de l'expression

d'une famille multigénique appelée XET (xyloglucane endo-trans-glucanase). Les XET effectuent des coupures internes dans les polymères de xyloglucanes, pour ensuite lier les fragments générés à d'autres chaînes de xyloglucanes (Xu *et al.*, 1996). Braam *et al.*, (1997) ont proposé l'idée qu'à l'instar des gènes impliqués dans la lignification, les XET pourraient intervenir dans l'altération des propriétés (exemple: extensibilité) de la paroi lors des stress abiotiques et notamment hydriques.

C. Adaptation physiologique

La stratégie de la tolérance est mise en œuvre par les plantes grâce à l'abaissement du potentiel hydrique qui maintient la turgescence (Sorrells *et al.*, 2000). Les mécanismes intervenant dans la tolérance assurent l'hydratation cellulaire et diminuent la perte en eau en maintenant un statut hydrique favorable au développement foliaire. La réduction des pertes en eau par la fermeture stomatique est un moyen d'adaptation des plantes au stress. Cette diminution de la transpiration engendre une réduction de la photosynthèse. Les génotypes qui ont la capacité photosynthétique intrinsèque la moins affectée par le stress présentent une efficacité de l'utilisation de l'eau élevée et une plus grande capacité de survie (Araus *et al.*, 2002).

L'adaptation à des milieux aux régimes hydriques variables est en partie associée à l'ajustement osmotique (Richards *et al.*, 1997). L'ajustement osmotique constitue le processus majeur permettant à la cellule de maintenir sa turgescence sous contrainte hydrique (Zhang *et al.*, 1999). L'ajustement osmotique est réalisé grâce à une accumulation des solutés conduisant à un maintien du potentiel de turgescence. Les solutés responsables de la régulation osmotique sont essentiellement des acides organiques, des acides aminés (proline, glycine-bétaine), des sucres solubles et certains constituants inorganiques (Richards *et al.*, 1997).

I.1.4.2 Le matériel végétal

L'emploi de variétés adaptées, suite à leur cycle de développement plus court, esquivant les contraintes climatiques de fin de cycle, ou bien possédant une résistance intrinsèque, permet aussi de donner une certaine régularité à la production (Giunta *et al.*, 1993). Sous climat semi- aride, l'amélioration des techniques de production est centrée, de plus en plus, autour de l'efficacité d'utilisation de l'eau (Richards *et al.*, 2002). La pluviométrie diminuera de 15% à 20% dans les années à venir, suite aux effets des changements climatiques, incitant à protéger les ressources d'eau existantes et à valoriser la ressource renouvelable (Debaeke et Aboudrare, 2004). Parmi les alternatives permettant

d'améliorer les rendements en grains, des régions arides et semi arides où les ressources en eau sont rares, figurent le développement et la sélection de variétés plus économes en eau (Richards *et al.*, 2002). Des augmentations significatives des rendements sont possibles, dans les milieux contraignants, si la sélection est faite pour l'adaptation spécifique, mettant ainsi en valeur les différents terroirs (Araus *et al.*, 1998). La sélection pour la tolérance induit, certes, une baisse des rendements sous contrainte, mais cette baisse est cependant moins importante chez les génotypes tolérants comparativement à celle notée chez les génotypes sensibles (Bahlouli *et al.*, 2005).

L'utilisation optimale de l'humidité du sol, par la culture, est liée à l'indice foliaire qui s'établit au cours du cycle et à sa modulation en fonction de l'intensité des stress prévalants (Tardieu, 2003). Pour un stock donné d'eau du sol, le cultivar adapté et économe en eau est celui qui ne fait pas de consommation de luxe au cours de la pré - anthèse (Passioura, 2004). Il module son indice foliaire pour réguler la transpiration en fonction du degré de son approvisionnement en eau (Richards *et al.*, 2002). Chez les plantes économes en eau, l'évitement de la déshydratation est lié à la réduction des pertes d'eau par les voies cuticulaire et stomatique. La recherche d'indicateurs de la capacité de la plante à faire une bonne utilisation de l'eau, sous stress hydrique, est un préalable à la réalisation de progrès en matière d'amélioration du rendement sous contrainte hydrique (Araus *et al.*, 2002).

I.1.4.3 Les techniques culturales

Les techniques culturales appliquées à la céréale, ne sont pas, cependant, toujours ce qu'elles devraient être pour l'atteinte d'objectifs de rendement en grains recherchés. Dans un tel milieu, les techniques culturales ne sont pas uniquement utiles pour la mise en place de la culture, leur raison d'être est aussi d'aider, autant que possible, la culture à moins souffrir des contraintes climatiques quand elles se présentent. Pour réduire des effets de ces contraintes, il est nécessaire d'adapter les techniques culturales et le matériel végétal à la variabilité climatique du milieu de production (Mekhlouf, 2009). Les techniques culturales recouvrent la préparation du sol, les dates et densités de semis, le désherbage, la fertilisation et la rotation. Selon Chenaffi *et al.*, (2006), la pratique de l'irrigation déficitaire est, sans aucun doute, la technique dont les effets sont les plus évidents et immédiats, quant à l'augmentation des rendements.

Les innovations technologiques, visant à améliorer la production, doivent réduire des risques climatiques, en maximisant l'infiltration et l'utilisation des eaux de pluies, améliorer la fertilité des sols et réduire les pertes du patrimoine sol. Dans la mesure où, suite à la nature méditerranéenne du climat, 70% des pluies sont enregistrées en hiver, les techniques

culturelles doivent assurer aussi le stockage du maximum de cette eau dans le profil. La valorisation des eaux pluviales est donc un facteur déterminant de la production sous climat semi-aride (Mekhlouf, 2009).

I.1.4.4 Les contraintes édaphiques

Selon Kribaa (2003), les contraintes édaphiques s'agissent par une profondeur du sol réduite par des accumulations calcaires dures, limitant la réserve hydrique et le développement racinaire. Elles agissent également par l'état structural de l'horizon de surface qui détermine en grande partie le fonctionnement hydrique du sol. Les caractéristiques chimiques, biochimiques et biologiques du sol peuvent constituer également des contraintes.

I.1.5 Critères de sélection de blé dans les régions semi arides

Les programmes de sélection du blé à travers le monde ont réalisé des gains génétiques considérables dans l'amélioration des rendements sans recourir aux outils de sélection physiologiques (Rajaram et Ginkel, 1996). Les sélectionneurs et les physiologistes admettent que les succès futurs passeront à travers une grande intégration d'une recherche multidisciplinaire (Jackson *et al.*, 1996). Le modèle proposé par Passioura en 1977 est une vue appropriée pour identifier les caractéristiques qui peuvent limiter le rendement du blé aux environnements à contrainte hydrique. Ce modèle est basé sur le rendement grain, et non pas sur les critères de protection ou de survie longtemps usités sous des conditions de sécheresse dans le passé, en grande partie sans succès. Passioura (1977) considère que le rendement grain est fonction de la quantité d'eau utilisée par la récolte, la façon dont l'eau est utilisée par la récolte pour le développement de la biomasse et l'indice de récolte.

Au CIMMYT, des recherches ont montré l'interrelation de plusieurs caractéristiques physiologiques, incluant la conductance stomatique et la capacité photosynthétique, sur une série historiques de cultivars dans un environnement considéré à haut potentiel de production (Fischer *et al.*, 1998). Certains travaux ont montré qu'une variation faible de température de la couverture végétale, quand elle est mesurée sous des climats chauds est fortement associée au rendement (Reynolds *et al.*, 1994). De plus, les caractéristiques de la sélection physiologique pour la tolérance à la sécheresse ont été introduites dans plusieurs programmes de sélection de blé en Australie, telles que l'efficacité de la transpiration, la vigueur précoce et le tallage réduit (Richards *et al.*, 1996). Actuellement, au CIMMYT les techniques de la sélection physiologique ont un rôle complémentaire dans la sélection du blé (Reynolds *et al.*, 1998). On peut citer les caractéristiques physiologiques qui peuvent avoir des implications sur le potentiel du rendement par exemple les translocations des sucres solubles des tiges vers le

grain et la capacité pour maintenir aussi longtemps la feuille verte durant toute la période de remplissage (Jenner et Rathjen, 1975).

I.2 L'efficacité d'utilisation de l'eau

I.2.1 Définitions

L'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) a été définie différemment dans la littérature (Passioura, 1977; Turner, 1986 b). Étant une cible de production, l'efficacité d'utilisation de l'eau pourrait être définie de plusieurs manières, selon les mesures et les unités de l'échange prises en considération (Condon *et al.*, 2004). Toutes les définitions potentielles consistent en une certaine quantité de l'eau utilisée pour une certaine unité de production.

Selon les agronomes, elle est définie comme étant le rendement à la récolte obtenu à partir de l'eau rendue disponible par les précipitations et/ou l'irrigation (Condon *et al.*, 2004).

Pour les physiologistes, l'efficacité d'utilisation de l'eau correspond au rapport entre le gain de carbone lors de la photosynthèse et la perte d'eau par transpiration (Figure 02).

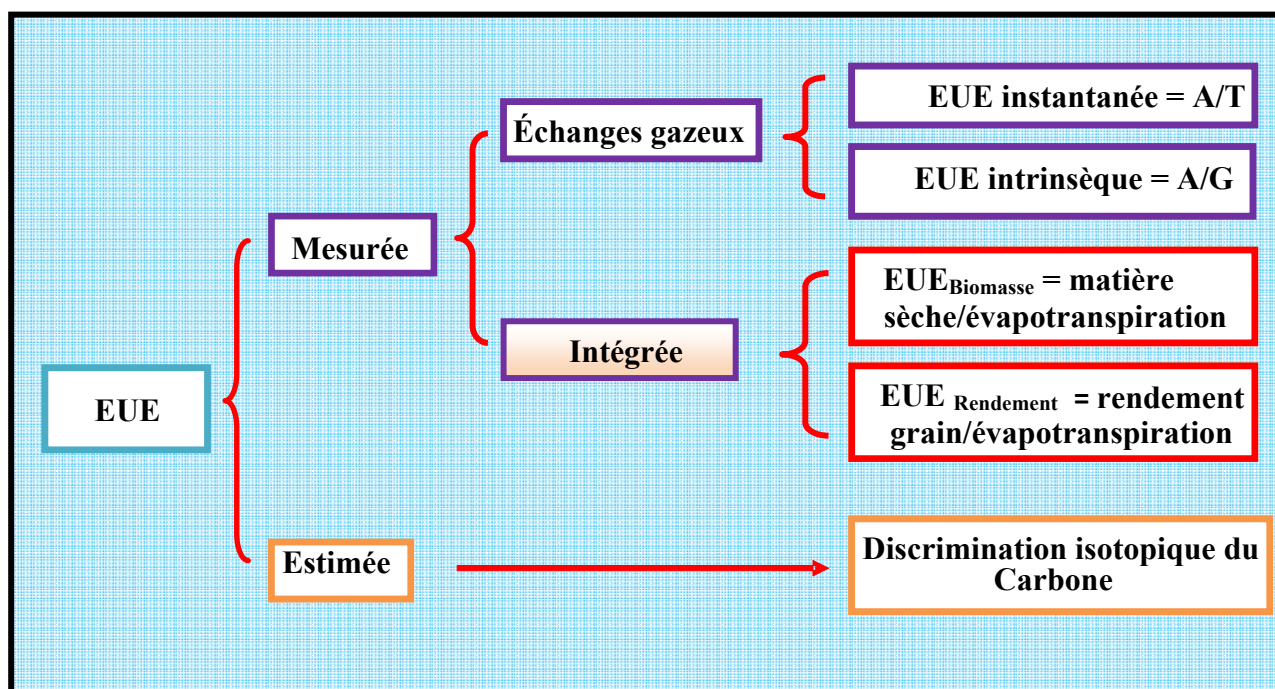


Figure 02. Échelle d'étude de l'efficacité d'utilisation de l'eau (Tambussi *et al.*, 2007).

I.2.2 Amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau

L'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau des productions végétales aussi bien irriguées que pluviales paraît être une urgence impérative (Hamdy *et al.*, 2003). Pour cette fin, plusieurs méthodes ont été suggérées à savoir :

- ✓ Un semis précoce (French et Schulz, 1984) ;
- ✓ L'utilisation des fertilisants azotés ;
- ✓ L'inclusion des génotypes précoces ;
- ✓ La densité élevée de plantation;

- ✓ La bonne gestion des sols et
- ✓ La conduite des rotations offre également la possibilité d'augmenter l'utilisation de l'eau surtout que les racines de certaines espèces ont le potentiel de pénétrer plus profond dans le sol que d'autres (Hamblin et Hamblin, 1985).

Dans les dernières décennies, les agriculteurs australiens ont adopté des aménagements afin d'obtenir une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau. Ces pratiques se résument dans l'emploi des niveaux élevés des fertilisants spécialement l'azote et le phosphore, le semis direct et l'usage des rotations afin d'améliorer la nutrition et la pénétration des racines chez les céréales (Turner, 1997). Quoiqu'il soit possible d'optimiser l'efficacité d'utilisation de l'eau lors d'une saison de précipitation de l'ordre de 400mm/an, une telle optimisation paraît difficile lors d'un drainage, d'un écoulement, d'un acheminement et/ou une d'imprégnation d'eau résultant d'une précipitation forte et irrégulière (Gregory *et al.*, 1992).

Néanmoins, dans presque tous les cas, une amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau provient d'une élévation du rendement (Turner, 2001).

L'efficacité d'utilisation de l'eau reflète les multiples stimuli environnementaux perçus et la capacité des génotypes de percevoir l'état hydrique en réponse aux conditions environnementales (Wilkinson et Davies, 2002). Les pratiques d'irrigation ont toujours provoqué un risque environnemental nuisible à travers un épuisement des réserves en eau de surface et souterraines, une salinisation des sols, un lessivage des nutriments. De tels problèmes peuvent menacer le maintien à long-terme de plusieurs surfaces irriguées. Certains de ces problèmes associés avec l'irrigation pourraient être minimisés en améliorant l'efficacité d'utilisation de l'eau.

Une stratégie capable de corriger l'efficacité d'utilisation de l'eau en exploitant les mécanismes de réponse à la sécheresse chez certaines plantes pourrait être un outil très utile. En effet, le stress hydrique modéré induit une fermeture stomatique partielle, ce qui amènerait à une amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau (Turner, 1997). Cette réponse serait due, d'une part, à la relation non linéaire entre la conductance stomatique et l'assimilation, et d'autre part, à un changement d'allocation des ressources en faveur du développement reproductif sous conditions de stress hydrique (Yang *et al.*, 2000; 2001).

Au niveau des plantes sujettes à un déficit hydrique, les racines interagissent avec le sol desséché afin d'influencer le fonctionnement foliaire via la libération des signaux. Ces substances agissent par réduction de la transpiration et probablement de la surface foliaire afin de réduire les pertes en eau. Ainsi, l'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau passe

aussi par l'augmentation de l'humidité du sol (English *et al.*, 1990). Cette augmentation repose sur l'exploit des différentes réponses physiologiques des plantes (Loveys *et al.*, 2000; Tardieu *et al.*, 1992). Pourtant, le degré approprié du déficit hydrique pourrait être difficile à obtenir (Davies *et al.*, 2002).

La faible efficacité d'utilisation de l'eau dans l'agriculture est liée à de nombreuses et complexes causes, à savoir des causes environnementales, biologiques, gestionnaires, sociales, et économiques. La complexité du problème exige un cadre conceptuel complet des processus fondamentaux physiques et biologiques comme base pour analyser la situation existante et prévoir des améliorations (Hsiao *et al.*, 2007). Il est plus important d'apporter des améliorations modestes à différents niveaux (absorption de l'eau du sol, transpiration, photosynthèse, et rendement) que de se limiter à améliorer un ou deux étapes (Hsiao *et al.*, 2007).

I.3. Le semis direct et la conduite conventionnelle de la culture de blé dans la région des hautes plaines sétifiennes (HPS)

I.3.1. Contexte pédoclimatique de la région

Les hautes plaines sétifiennes sont localisées dans l'Algérie orientale. Elles appartiennent à l'étage bioclimatique semi-aride à caractère continental, ces plaines sont caractérisées par des hivers rigoureux et des étés chauds et secs (4 à 5 mois) (Baldy, 1974). La pluviométrie moyenne annuelle y varie entre 158 mm et 500 mm avec une variation spatio-temporelle marquée. Les épisodes de sécheresse survenant pendant la saison pluvieuse peuvent être aggravés par l'occurrence précoce de sirocco, vent chaud et desséchant.

Selon Lahmar *et al.*, (1993), la répartition des sols dans ces plaines fait apparaître en gros trois (03) domaines. Dans la partie Nord, plus réduite en surface et ondulée, dominant des sols peu ou pas carbonatés, noirs, argileux, doués de propriétés vertiques. La zone Sud, plate, est dominée par des sols calcaires avec le plus souvent des horizons de calcaires durs plus ou moins démantelés, proche de la surface. L'horizon de surface se confond le plus souvent avec la couche travaillée. Entre ces deux domaines et en intrusion dans la zone sud se développe, en lien avec le réseau hydrographique, des bandes et taches de sols bruns ou rouges, profonds, généralement bien structurés en profondeur. Tous ces sols ont en commun une structure de surface fragile et de faibles taux de matière organique dans la couche travaillée. Une baisse temporelle des taux de matière organique y a été notée (Batouche et Labiod, 1991 *in* Lahmar et Bouzerzour, 2010).

I.3. 2 Le système de culture

Selon Sebillotte (1990), un système de culture est l'ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles traitées de manière identique. 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.

I.3.3. Conduite conventionnelle de la culture de blé dans la région

Les hautes plaines sétifiennes sont habituellement présentées comme un terroir dominé par les céréales pluviales. Le système de culture est basé sur une rotation Céréales/jachère. Selon Abbas et Abdelguerfi (2005), la jachère substitue toujours et occupe annuellement de très grandes superficies, cette pratique constitue une composante majeure des systèmes de production mixtes de type Céréales-ovins, elle s'est élaborée comme moyen d'adaptation

cohérent avec l'ensemble formé par les techniques et le fonctionnement des exploitations (Sébillotte *et al.*, 1993).

Selon Kribaa (2003), les modalités de préparation du sol sont inspirées directement des pratiques développées en Europe. Elles comprennent les interventions suivantes :

- ✓ Ramassage des résidus de récolte ;
- ✓ Passage d'une charrue à disques ou passage d'une déchaumeuse qui travaille plus vite ;
- ✓ Passage d'un pulvérisateur à disques afin de niveler le sol et de rompre les mottes de terre pour faciliter la germination ;
- ✓ En cas de sol tassé, passage d'un scarificateur.

I.3.3.1 Le système de culture (céréale-jachère)

A. Historique

Selon Lützel Schwab (2000), le *dry-farming* a été introduit et développé dans les hautes plaines sétifiennes pendant la seconde moitié du 19^{ème} siècle comme une innovation permettant de produire le blé dans les zones à faible pluviométrie. L'ingéniosité du *dry-farming* réside dans la création et le maintien à la surface du sol préalablement labouré d'une couche pulvérulente -le mulch terreux- dont la fonction principale est d'empêcher l'évaporation des eaux infiltrées (Lahmar et Bouzerzour, 2010). De cette manière, l'eau conservée dans le sol pendant une année profite à la céréale cultivée l'année suivante. Dans la pratique, le *dry-farming* transforme le système biennal céréale-jachère pâturée préexistant et auquel l'élevage, local et transhumant, est intimement associé en un système céréale –jachère travaillée excluant l'élevage (Lahmar et Bouzerzour, 2010). Le développement du *dry-farming*, fortement soutenu pour les considérations économiques et politiques de l'époque et favorisé par l'apparition des moissonneuses et du tracteur, a eu un impact négatif sur les sociétés rurales, l'élevage et les sols. En un quart de siècle, la matière organique des sols et leur fertilité ont chuté de manière notable et, à la hausse initiale des rendements du blé a succédé une baisse qui se poursuivra pratiquement jusqu'à l'indépendance de l'Algérie, jetant le doute sur les vertus du *dry-farming*.

Entre les années 1960 et 1980, le *dry-farming* a résisté aux tentatives d'introduction de technologies alternatives, notamment le *ley-farming* australien. De nos jours, même si son itinéraire technique n'est pas toujours et partout appliqué entièrement, le *dry-farming* persiste encore en Algérie alors qu'il n'y a plus de divergence sur ses contre-performances économiques, sociales et écologiques (Lahmar et Bouzerzour, 2010).

B. La jachère : principe, avantages et inconvénients

Avec une durée de plus de 16 mois, la jachère se justifie par les fonctions qu'elle remplit notamment sur le plan agronomique :

- ✓ Stockage de l'eau pour la culture de céréales qui suit ;
- ✓ Pâturage pour les ovins (Kribaa *et al.*, 2001).

Différentes formes de jachères coexistant, la part de la jachère travaillée diminue alors que celle de la jachère pâturée augmente, elle est la plus utilisée, elle sert de pâturage durant l'été, l'automne et le printemps, puis elle est labourée, soit en début d'été, si les conditions d'humidité le permettent, sinon, en début d'automne.

Pour la céréale, la préparation du lit de semence et l'opération du semis sont réalisés après un labour fait, le plus souvent dans des conditions très sèches. Le principe de l'adoption de la jachère repose sur l'idée que la pluviométrie d'un cycle de culture est insuffisante pour la réalisation d'un rendement stable et économiquement acceptable de la culture de la céréale (Chennafi *et al.*, 2006), la pluviométrie enregistrée au cours de la jachère, qui est stockée dans le sol, sert comme apport pluviométrique complémentaire utilisable par la culture de céréale qui suit. Donc, la jachère est considérée comme une pratique de conservation de l'eau pour la céréale, mais, ses effets sur le bilan hydrique dépendent, en règle générale, de la date des labours : leur précocité favorise un meilleur stockage de l'eau dans le sol ; avec les labours tardifs, comme le cas pour une jachère pâturée, la possibilité de réaliser des réserves hydriques paraît alors compromise.

Depuis fort longtemps, les travaux réalisés en 1962 dans les hautes plaines sétifiennes par Perrier (1973), ont montré que l'effet global de la jachère travaillée (labours précoces) a été un gain de 60 mm d'eau en fin de saison (35 à 40% de la réserve utilisable), mais à une profondeur supérieure à 60 cm (Codron et Gros, 1984). L'intérêt de la jachère considérée (végétation spontanée jusqu'au labour de printemps) n'est donc pas évident (Perrier, 1973) ; l'utilisation d'une culture d'automne qui n'accroît pas le déficit hydrique pourrait être plus favorable. En effet, sous jachère travaillée, le labour de printemps provoque un dessèchement brutal du sol sur une profondeur de 60 cm. Par ailleurs, les travaux des opérations intégrées de recherche - développement menés dans le cadre de la coopération algéro-française dans différentes régions céréalières d'Algérie, ont montré que le rôle de conservation de l'eau attribué à la jachère travaillée n'existe véritablement que pour les zones à pluviométrie suffisante et disposant de sols profonds à moyennement profonds (ITGC, 1980). Les

conditions d'assurer les fonctionnements escomptés de la jachère ne sont pas souvent réunies dans les zones céréalières algériennes (Abbas et Abdelguerfi, 2005).

En fin, par son faible niveau de restitutions au sol et une forte minéralisation de la matière organique, la jachère travaillée accélère l'érosion des sols tout en entraînant l'exclusion de l'élevage (Abdelguerfi, 1992). Au contraire, la jachère pâturée a tendance à réduire les risques de lixiviation de l'azote ; le déplacement des animaux permet aussi de transfert d'éléments minéraux et de matière organique entre parcelles (Sébillotte *et al.*, 1993).

I.3.4 L'Agriculture de conservation

I.3.4.1 Définition

« L'agriculture de conservation vise des systèmes agricoles durables et rentables et tend à améliorer les conditions de vie des exploitants au travers de la mise en œuvre simultanée de trois principes à l'échelle de la parcelle : le travail minimal du sol ; les associations et les rotations culturales et la couverture du sol » (FAO, 2003).

L'agriculture de conservation maintient une couverture organique du sol, permanente ou semi-permanente, se composant d'une plante vivante ou d'un paillis mort. La fonction de la couverture organique est de protéger physiquement le sol contre le soleil, la pluie et le vent et de nourrir les organismes vivants du sol. Par la suite, les microorganismes et la faune du sol assureront la fonction de labour et l'équilibre nutritif du sol, maintenant de ce fait la capacité de résilience du sol. Le semis direct avec conservation des résidus de culture est peut-être le meilleur exemple d'agriculture de conservation, puisqu'il évite la perturbation provoquée par le labour mécanique. Une rotation de cultures variées est également importante pour éviter des problèmes de maladies et de parasites. (Derpsch, 2001 ; FAO, 2003)

I.3.4.2 L'essor de l'agriculture de conservation

A. Au niveau mondial

Si les outils de travail du sol se sont aujourd'hui diversifiés, la charrue à versoirs reste l'outil le plus répandu. Le labour permet de contrôler le développement des adventices, d'enfouir les résidus de cultures et de fragmenter la structure du sol avant l'implantation des cultures. Cette technique a permis d'augmenter la productivité des cultures mais elle reste une technique consommatrice de temps, de main d'œuvre, de puissance tractrice et d'énergie (Monnier, 1994). Les problèmes de fertilité des sols communs aux sols labourés ont conduit au développement des techniques alternatives au labour, regroupées sous le terme de travail du sol de conservation (Köller, 2003).

Depuis les années 50, les surfaces agricoles labourées diminuent à travers le monde entier au profit du travail du sol de conservation (Lal *et al.*, 2007). Ce mode de production se pratique sur environ 95 millions d'hectares à travers le monde (Lal *et al.*, 2007). Ces techniques se sont d'abord et surtout développées aux Etats-Unis et ont rapidement gagné l'Amérique du Sud, notamment le Brésil, l'Argentine et le Chili, ainsi que l'Australie où les risques d'érosion éolienne sont élevés (Köller, 2003). D'autres raisons invoquées par les agriculteurs pour l'adoption des techniques de conservation sont l'efficacité, la largeur de travail des outils et le gain de temps, ainsi que leur potentiel de stockage du carbone dans les sols et leur capacité à favoriser l'activité biologique des sols (Kern et Johnson, 1993; Köller, 2003; Labreuche *et al.*, 2007; Lal *et al.*, 2007).

B. L'agriculture de conservation dans les pays du Maghreb

Historiquement, les premiers pas du semis direct dans les pays du Maghreb remontent aux années 1970-1980, lorsque des essais ont été réalisés par les structures de recherche publiques avec des semoirs américains (de type : Tye) importés pour l'expérimentation. Cette approche semble avoir été abandonnée par la suite, sauf au niveau d'essais en station menés par l'INRA du Maroc. Le véritable « démarrage » d'actions concrètes centrées sur une démarche d'agriculture de conservation se situe à la fin des années 1990 avec, d'une part, le programme de création du « prototype marocain » de semoir (semis direct) initié par l'INRA de Settat, et d'autre part, le programme « Agro-écologie et Semis Direct » mis en place en Tunisie. Le début d'une véritable implication concrète des agriculteurs dans ces démarches remonte donc, globalement à cette période (Vadon *et al.*, (2006) *in* Chaaban, 2009).

En Algérie, d'après Bouzerzour *et al.*, (2006), l'idée d'introduire des techniques de l'agriculture de conservation directement au niveau des exploitations, a émergé suite à la soumission d'un projet sur l'efficacité d'utilisation de l'eau dans le cadre INCO-MED, au cours de l'année 2002.

I.3.4.3 Les piliers de l'agriculture de conservation

I.3.4.3.1 La couverture du sol

En systèmes de labour de conservation, la perturbation ou la manipulation du sol doit respecter la présence d'un mulch d'au moins de 30 % et l'élimination de toute action de retournement ou mixage des horizons. Le maintien d'au moins 30 % de la surface du sol couverte par des résidus végétaux lors de la mise en place de la culture suivante est

généralement suffisant pour contrôler l'érosion hydrique, ce qui correspond à 1120 kg ha⁻¹ pour contrôler l'érosion éolienne (Sandretto, 2001).

I.3.4.3.2 La rotation

Le semis direct doit être considéré comme un système et non pas comme une simple méthode de préparation du terrain. Pour que ce système soit efficace, il faut introduire la rotation des cultures, c'est-à-dire l'utilisation dans le temps et dans l'espace d'une séquence de cultures. La rotation des cultures est fondamentale pour la durabilité des systèmes de semis direct.

Le semis direct est un nouveau système d'exploitation du milieu. Il faut l'intégrer dans des systèmes de culture qui permettent d'optimiser la gestion des ressources naturelles et l'ensemble des facteurs de production dans les exploitations. Les modalités de mise en œuvre du semis direct sont très diverses, et dépendent en premier lieu des conditions climatiques de la zone concernée. Plus la pluviométrie est importante, plus les modalités sont nombreuses et diversifiées. En plus, au cours du temps, beaucoup de modifications ont eu lieu pour réussir au maximum l'adaptation du semis direct. Ceci a permis de développer différents systèmes de semis direct selon les exigences agricoles et édaphiques. A cause de ces développements, le semis direct a été réussi dans plusieurs cultures. D'abord appliqué au maïs, le semis direct avec conservation de résidus gagne d'autres cultures, à commencer par le soja et les céréales à petites graines (blé d'hiver, orge...), puis le cotonnier, le sorgho, le tabac, les légumes et l'arachide et les cultures d'hiver (blé, trèfle, vesce, et seigle) (CDSR, 2001).

I.3.4.3.3 Le semis direct

A. Définition

Le semis direct est un système de conservation, de gestion des sols et des cultures, dans lequel la semence placée directement dans le sol. Seul, un petit trou ou un sillon est ouvert, de profondeur et de largeur suffisantes avec des outils spécialement conçus à cet effet pour garantir une bonne couverture et un bon contact de la semence avec le sol. Aucune autre préparation du sol n'est effectuée. L'élimination des mauvaises herbes, avant et après le semis et pendant la culture, est faite avec des herbicides, les moins polluants possibles pour le sol qui doit toujours rester couvert (Seguy *et al.*, 2001). La technique de culture connue sous le nom de « semis direct » ou « non labour » s'inscrit dans un ensemble des techniques connues en tant qu'agriculture de conservation.

B. L'objectif du semis direct

L'objectif essentiel du semis direct est de conserver, d'améliorer et d'utiliser les ressources naturelles d'une façon plus efficace par la gestion intégrée du sol, de l'eau des agents biologiques et des apports de produits externes. L'objectif final est de mettre en place une agriculture durable qui ne dégrade pas les ressources naturelles, sans renoncer pour autant à maintenir les niveaux de production (Atares, 2006).

C. Développement technologique en semis direct

En face d'un double défi de concilier la production et l'environnement, le semis direct a connu un développement technologique remarquable au cours du temps (Fowler, 1995). Ce développement technologique a concerné :

- ✓ La gestion des résidus à la récolte et au moment du semis (distribution spatiale des résidus) ;
- ✓ L'implantation des cultures (profondeur du semis, contact sol-semence, conditions de germination et de levée) ;
- ✓ La fertilisation de fond (positionnement des engrais) et les pratiques de désherbage (type d'herbicide, dose et application).

Les techniques de semis direct sont compatibles avec tous les types de mécanisation, du simple outil à main aux machines utilisant l'agriculture de précision. A partir des années 40, la recherche agronomique aux États-Unis a réinventé le principe de semis direct en introduisant de nouvelles technologies (semoirs de précision, herbicides...). C'est en 1962, que les nouvelles techniques de semis direct sur couverture végétale ont commencé à être pratiquées en vraie grandeur, après une phase expérimentale et pionnière de vingt ans. Depuis lors, le progrès a pris de la vitesse (CDSR, 2001).

Plusieurs facteurs sont à l'origine du développement de ces techniques, le premier facteur qui a aidé au développement du semis direct est d'ordre environnemental, le second facteur qui a contribué au développement du semis direct c'est l'apparition des herbicides qui ont permis de remettre en question les objectifs assignés au labour, particulièrement le contrôle des adventices.

La commercialisation en 1960 de deux herbicides desséchants non rémanents totaux de contact (paraquat et diquat) a considérablement aidé dans l'extension du semis direct. Par la suite, les innovations dans le domaine des herbicides ont été nombreuses, avec notamment la mise au point du glyphosate et l'apparition de nouveaux herbicides de pré-levée ou pré

semis de plus en plus sélectifs qui permettent de perfectionner la lutte contre les adventices (sulfonylurées).

Le troisième facteur est la fabrication en 1961 du premier semoir pour semis direct en traction motorisée. Un semoir semis direct est généralement composé de trois types d'organes : organes ouvreurs ou coutres, organes semeurs et roues tasseuses. Les roues tasseuses ont pour rôles de couvrir (fermer) le sillon, limiter la profondeur de semis et améliorer le contact sol-graine. Ce sont les éléments de finition du lit de semis. Une grande variété de coutres est disponible. Ils coupent, ouvrent le sol, dégagent les résidus et aident au travail des organes semeurs et au placement des engrais. Ils sont généralement de forme circulaire. Ce disque peut être lisse, denté (ondulé), gaufré, à bulles, ou crénelé. Selon l'organe semeur, le semoir direct peut être classé en semoir à disques ou à socs. Le tableau 03 donne les avantages et les inconvénients de chaque type de semoir. Il existe également des semoirs directs équipés d'un dispositif pneumatique pour l'injection des semences dans le sol. Du fait que les semoirs directs doivent sectionner des résidus de récolte et des racines pour pénétrer efficacement le sol, une des différences les plus importantes par rapport aux semoirs conventionnels est leurs poids (CDSR, 2001).

Tableau 03. Avantages et inconvénients des semoirs directs (Mrabet, 2001).

Semoirs à socs		Semoirs à disques	
Avantages	Inconvénients	Avantages	Inconvénients
- Contrôle de la profondeur du semis. - Pénétration en conditions de sol sec et dur. - Bon contact sol-semence. - Bon tassement - Meilleur emplacement des engrais. - Utilisation en conditions de terrains difficiles : sols caillouteux, rugueux, en pente.	- Besoin élevé de force de traction. - Poids élevé (transport). - Grande manipulation ou perturbation du sol (écartement faible). - Bourrage en sols. - Couverts de grandes quantités de résidus.	- Positionnement uniforme des semences si les résidus sont bien répartis en surface. - Moins de manipulation du sol. - Bon tassement.	- Inopérant en conditions de fortes quantités de résidus en surface : mauvais contact sol-graine et semis superficiel. - Disques sont plus chers. - Masses alourdissant pour pénétrer facilement (surtout en sec).

I.3.5 Effets du semis direct sur les composantes du milieu cultivé

I.3.5.1 Effets du semis direct sur la composante physique

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

A. La structure du sol

Le travail du sol affecte les facteurs biotiques et abiotiques du sol, soit directement en modifiant les propriétés structurales du sol comme l'arrangement des vides, les agrégats, la connectivité des pores, soit indirectement en changeant les conditions d'aération, de température et de pénétrabilité du sol par les racines (Huwe, 2003). La structure du sol est le résultat, à un moment donné, de l'équilibre entre les phénomènes de tassement (par le passage d'engins agricoles, conditions humides d'intervention), de fragmentation (par le climat, la faune et/ou le travail du sol), d'agrégation (par des compactions modérées ou par le climat et/ou la faune) et de déplacement du sol par le travail du sol (Roger-Estrade *et al.*, 2000). Il en résulte que la structure du sol est très variable au sein des couches de sol cultivées non seulement dans le temps (sous l'action des systèmes de cultures, du climat) mais aussi dans l'espace. Le sol présente donc une forte variabilité spatiale des conditions locales de circulation d'eau, d'activité biologique et d'aération (Boizard *et al.*, 2004).

Dans les systèmes labourés, la structure du sol est principalement créée par les opérations de travail du sol tandis que dans les systèmes non travaillés (semis direct) la structure est principalement créée par l'action du climat (en surface dans les régions tempérées) et par des processus biologiques (Oorts, 2006). Il en résulte que la structure d'un sol labouré est extrêmement hétérogène. Elle est composée de l'assemblage de sol fin, de mottes compactées ou non (décimétriques), de résidus de cultures répartis le long de la bande de labour, de vides et de fissures issus de l'action de retournement, de déplacement et de fragmentation de la charrue sur la couche de sol labourée (Roger-Estrade *et al.*, 2004). A l'inverse, la structure d'un sol non travaillé est plus homogène et présente souvent une structure plus massive composée de macropores d'origine biologique. Les fissures et les vides sont en général moins importants dans les sols non travaillés ou dans les systèmes de travail du sol réduit du type chisel (Rasmussen, 1999). Par ailleurs, les résidus de cultures ne sont pas enfouis en profondeur et sont concentrés en surface ou dans les premiers centimètres de sol, améliorant la stabilité structurale du sol (Tebrügge et Düring, 1999).

B. La densité apparente du sol

Réduire l'intensité et la profondeur du travail du sol conduit en général à une augmentation de la densité apparente du sol mais pas au-delà de l'ancien fond de labour (Guérif, 1994; Rasmussen, 1999; Tebrügge et Düring, 1999). L'absence de fragmentation des anciennes couches de sol travaillées entraîne une diminution de leur espace poral (Guérif, 1994). L'augmentation de la densité apparente du sol est toutefois moins importante dans les systèmes de travail du sol réduit que dans les systèmes type semis direct (Kay et Vanden Bygaart, 2002), voire inférieure sur 0-10 cm (D'Haene *et al.*, 2008). Les socs du chisel, en fragmentant le sol, réduisent la prise en masse du sol sur la profondeur de travail de l'outil et à long terme (> 11 ans), il semblerait que la densité apparente du sol soit identique à celle d'un sol labouré (D'Haene *et al.*, 2008). Par contre, la densité apparente de la couche de sol de surface (0-5 cm) est favorisée dans les systèmes de non travail du sol par rapport à un labour en raison de la présence d'un mulch en surface (Blanco-Canqui et Lal, 2007; Guérif, 1994; Tebrügge et Düring, 1999). L'effet des différentes techniques de travail du sol sur la structure diffère selon le type de sol. Les sols sensibles aux tassements, comme les sols sableux, se prêtent moins à l'abandon du labour car leur faible activité structurale limite la régénération de la structure du sol par les phénomènes naturels de retrait-gonflement (Munkholm *et al.*, 2003).

C. La porosité du sol et la circulation de l'eau dans le sol

L'augmentation de la densité apparente du sol dans les anciennes couches labourées fait que la porosité totale du sol est globalement réduite dans les systèmes de conservation. La forme, la taille et la continuité de l'espace poral changent également selon le type de travail du sol appliqué. L'effet des techniques de travail du sol sur la micro (<0,2 mm) et la mésoporosité (0,2-30 mm) du sol (importante pour le stockage de l'eau et siège des activités microbiennes) varie selon le temps d'application et la profondeur de travail de l'outil considéré. Les résultats de différentes expérimentations sont contradictoires et il est donc difficile de généraliser l'effet de la réduction du travail du sol sur ces classes de pores (Kay et Vanden Bygaart, 2002). Par contre, la macroporosité d'origine biologique est généralement augmentée dans les sols non labourés par rapport aux sols labourés. L'absence de fragmentation et d'homogénéisation du sol due à l'action de la charrue favorise le développement de macropores d'origine biologique, plus stables, continus et plus connectés les uns aux autres (Kay et Vanden Bygaart, 2002; Vogeler *et al.*, 2006). En favorisant la macroporosité biologique, les systèmes de conservation améliorent ainsi la conductivité hydraulique du sol en conditions saturées et la capacité d'infiltration tandis que le labour

homogénéise et régularise l'infiltration de l'eau (Huwe, 2003). Ces modifications de l'espace poral du sol ont des répercussions importantes sur la rétention en eau du sol et sur son réchauffement. La présence d'un mulch en surface dans les systèmes de conservation limite l'évaporation et augmente la rétention en eau dans les premiers centimètres de sol (Blanco-Canqui et Lal, 2007; Huwe, 2003; Lal *et al.*, 2007). Cependant, les sols non travaillés présentent une structure plus compacte et une porosité totale souvent plus faible que celle des sols labourés ou travaillés avec un outil à dent. Par conséquent la proportion de pores saturés en eau est souvent plus grande dans les systèmes non travaillés (Franzluebbers *et al.*, 1995). Cette proportion dépend de la porosité totale du sol, de la taille des pores et de la teneur en eau du sol et détermine ainsi l'aération du profil de sol (Oorts, 2006). Le risque d'anaérobiose semble donc être plus élevé dans les systèmes non travaillés par rapport aux systèmes de travail du sol conventionnel (Liu *et al.*, 2007). Ainsi, les transferts de chaleur et le réchauffement des sols non travaillés ont tendance à être plus lents au printemps à cause de la présence d'un mulch en surface (effet albédo en général supérieur pour les sols non labourés) et de leur structure plus dense et/ou plus humide (Baker *et al.*, 2007).

La présence d'un mulch en surface dans les systèmes de conservation augmente également la stabilité structurale des sols (Balesdent *et al.*, 2000), protège les sols contre les fortes pluies et limite les phénomènes de battance et les risques d'érosion hydrique (Blanco-Canqui et Lal, 2007; Köller, 2003; Rasmussen, 1999; Tebrügge et Düring, 1999). Par ailleurs, le mulch en surface et la structure du sol plus rigide dans les systèmes de conservation limitent l'incidence du passage des engins et du tassement qui en résulte, les sols étant plus portants (Tebrügge et Düring, 1999).

I.3.5.2 Effets du semis direct sur la composante chimique

A. Les matières organiques mortes

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

1980). Balesdent *et al.*, (2000) mettent en évidence une importante réduction de la vitesse de minéralisation du carbone organique en semis direct par rapport à un sol travaillé. Pour Pekrun *et al.*, (2003), c'est plus la dynamique de minéralisation des composés organiques qui est modifiée en semis direct. Par exemple, le pic de minéralisation concomitant au travail du sol n'existe plus ; la composition des microorganismes décomposeurs, dominés par les champignons, favorise l'immobilisation de l'azote au détriment de sa minéralisation (Carter et Rennie, 1987). Malgré tout, la quantité élevée de matières organiques permet de conserver une minéralisation importante en semis direct (Pekrun *et al.*, 2003).

B. Les éléments minéraux

Le non retournement du sol en semis direct conduit à un enrichissement en éléments minéraux des premiers centimètres de sol par rapport à une situation avec labour (Follett et Peterson, 1988; Edwards *et al.*, 1992). D'un autre côté, en semis direct, les quantités d'éléments minéraux peuvent être réduites en profondeur, notamment le phosphore et le potassium (Pekrun *et al.*, 2003). L'émission de protoxyde d'azote est favorisée dans un sol non travaillé (Liu *et al.*, 2006). D'autre part, si des études rapportent que le lessivage des nitrates peut être réduit lorsque le sol n'est plus travaillé (Halvorson *et al.*, 2001), d'autres études concluent qu'il peut être accentué (Catt *et al.*, 2000) ou non modifié (McConkey *et al.*, 2002). La même variabilité s'observe pour le transfert des herbicides en profondeur : en semis direct, les pertes d'herbicides peuvent être réduites (Tebrügge et Düring, 1999) ou augmentées (Holland, 2004) par rapport à un sol travaillé. En fait, ces contradictions sur le comportement des polluants s'expliquent par le fait que l'absence de travail du sol joue sur des phénomènes qui réduisent le risque de pollution (l'augmentation de la quantité de matières organiques en semis direct accroît l'adsorption de la plupart des pesticides) et sur d'autres qui l'accroissent (les écoulements préférentiels peuvent augmenter en semis direct). La balance entre les deux dépend étroitement des conditions expérimentales telles que le type de sol, la topographie ou le régime des précipitations (Barriuso *et al.*, 1994).

I.3.5.3 Effets du semis direct sur la composante biologique

A. Influence sur les macroorganismes

La diminution de l'intensité du travail du sol favorise en général le développement des macroorganismes. La perturbation physique, l'abrasion du sol et la diminution du mulch à la surface du sol limitent le développement des populations de carabes et d'araignées (Kladivko, 2001). Cependant, la présence d'un mulch en surface dans les systèmes de conservation

procure aussi un espace protecteur pour les ravageurs des cultures et notamment pour les limaces (Peigné *et al.*, 2007). Le nombre et l'activité des vers de terre augmentent dans les systèmes de travail du sol de conservation par rapport aux systèmes labourés. Le labour détruit l'habitat des vers de terre, notamment des espèces anéciques, et les expose aux prédateurs et à la dessiccation. De plus, l'augmentation des résidus de cultures en surface constitue une réserve trophique pour les vers de terre et stimule leur activité fouisseuse (Aslam *et al.*, 1999; Kladvko, 2001; Peigné *et al.*, 2007). Le nombre de biopores verticaux est donc favorisé par l'adoption des techniques de travail du sol de conservation et peut atténuer l'effet à long terme de l'absence de fragmentation des anciennes couches de sol labourées.

B. Influence sur la biomasse microbienne du sol

Le travail du sol agit sur l'environnement physique et biotique des microorganismes du sol (température, aération, humidité, répartition des résidus de culture) et modifie en retour la quantité, l'activité et la répartition de la biomasse microbienne dans le profil de sol.

De nombreuses études montrent que dans les systèmes de travail du sol de conservation, la biomasse microbienne présente une forte stratification verticale tandis qu'elle est répartie de façon homogène sur la profondeur de la couche de sol labourée (Andrade *et al.*, 2003). La biomasse microbienne est significativement supérieure dans les premiers centimètres du sol (0-10 cm) dans les systèmes de conservation par rapport aux systèmes labourés (Wright *et al.*, 2005) et devient inférieure (Ahl *et al.*, 1999; Meyer *et al.*, 1996) ou égale (McCarty *et al.*, 1998) dans les horizons sous jacents. En revanche, sur l'ensemble de la couche de sol arable (0-30 cm) l'augmentation de la biomasse microbienne dans les premiers centimètres du sol ne compense pas sa diminution en profondeur. Ainsi, la différence de biomasse microbienne devient faible voire nulle sur 0-30 cm entre les systèmes de conservation et les systèmes labourés (Ahl *et al.*, 1999; Meyer *et al.*, 1996).

C. Influence sur la structure et la diversité des communautés microbiennes du sol

Les modifications abiotiques et biotiques de l'environnement des microorganismes affectent également la structure des communautés microbiennes du sol (Andrade *et al.*, 2003). Dans les systèmes les moins perturbés mécaniquement, l'augmentation de la biomasse microbienne en surface serait majoritairement due à l'expansion de la biomasse fongique, favorisée par l'humidité du sol et non affectée par les perturbations mécaniques qui réduisent

la longueur des hyphes mycéliens et le nombre de propagules dans les premiers horizons de sol (Kennedy, 1999; Spedding *et al.*, 2004).

Les différentes études aboutissent à des résultats contradictoires, qui s'expliquent par des différences de stratégie d'échantillonnage, de date d'échantillonnage et de la présence ou non d'une culture au moment des prélèvements. Ainsi, Spedding *et al.*, (2004) montrent que la structure des communautés microbiennes d'un labour traditionnel est identique à celle d'un travail du sol réduit mais qu'elle diffère de celle d'un semis direct sur 0-10 cm de profondeur. Par contre, aucune différence n'apparaît en dessous de 10 cm de profondeur et les différences observées en début de cycle cultural sur 0-10 cm s'estompent au fil du temps (Spedding *et al.*, 2004). Ces résultats confirment ceux de Drijber *et al.*, (2000) et d'Ibekwe *et al.*, (2002) qui ont également montré qu'un sol labouré présentait une structure microbienne différente de celle d'un sol non travaillé et que la diversité génétique des microorganismes était plus importante en non labour. Mais, contrairement à ces résultats, l'étude de Feng *et al.*, (2003) ne montre pas de différences de structure des communautés microbiennes entre un sol labouré et un sol non travaillé (semis direct). Par contre, leur étude confirme les variations saisonnières de la structure des communautés microbiennes.

Matériel et méthodes

CHAPITRE II-MATERIEL ET METHODES

II.1 Conditions générales de la réalisation de l'expérimentation

II.1.1 Situation géographique

L'expérimentation a été conduite à la station expérimentale agricole de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC), situé à 4 km au sud-ouest de la ville de Sétif, au lieu dit R'MADA lié administrativement à la commune de Mezloug, Daïra de Ain Arnat. Le site expérimental est situé aux coordonnées géographiques suivantes : 36° 08' N, 5° 20' E, à une altitude de 962 m.

II.1.2 Le sol

Selon Baldy (1974), les zones semi-arides d'altitude se caractérisent par des sols peu profonds et peu fertiles suite à l'absence de restitution de la matière organique, la station de l'ITGC s'étend sur des dépôts d'âge quaternaire (alluvions anciennes et récentes). La plus grande partie des sols de la station (sauf alluvions récentes) appartiennent à la grande catégorie des sols steppiques de la classification française (Perrier et Soyer, 1970).

Pour le sol du site expérimental, les trois horizons qui délimitent les 30 premier cm de la couche (0-10, 10-20 et 20 -30 cm) ont une texture argilo-limono-sableuse (Tableau 04, figure 03), ces horizons ont une teneur moyenne en matière organique (calculée selon la méthode d'Anne) satisfaisante (2,6 %) (Figure 05), le pH est basique et a une valeur moyenne de 7,73. Selon la teneur en limon et en argile la structure du sol est stable (Figure 04).

Tableau 04. Résultats d'analyse des échantillons du sol du site expérimental.

	Sable (%)	Argile (%)	Limon (%)	MO (%)	pH
Horizon 1 (0-10 cm)	28	32	40	2.92	7.82
Horizon 2 (10-20 cm)	32	32	36	2.53	7.69
Horizon 3 (20-30 cm)	32	40	28	2,36	7,7
Moyenne	30,66	34,66	34,66	2,60	7,73

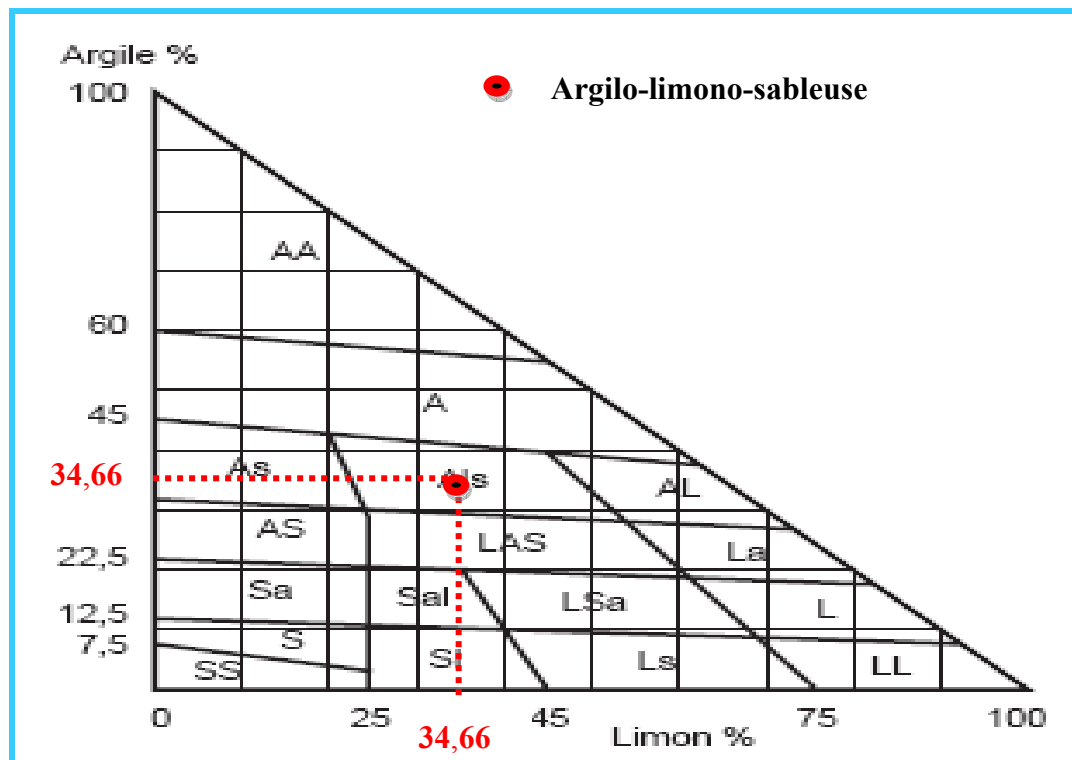


Figure 03. La texture du sol du site expérimental selon le diagramme de classification des textures (Groupe d'Étude des Problèmes de Pédologie Appliquée) (Soltner, 2005).

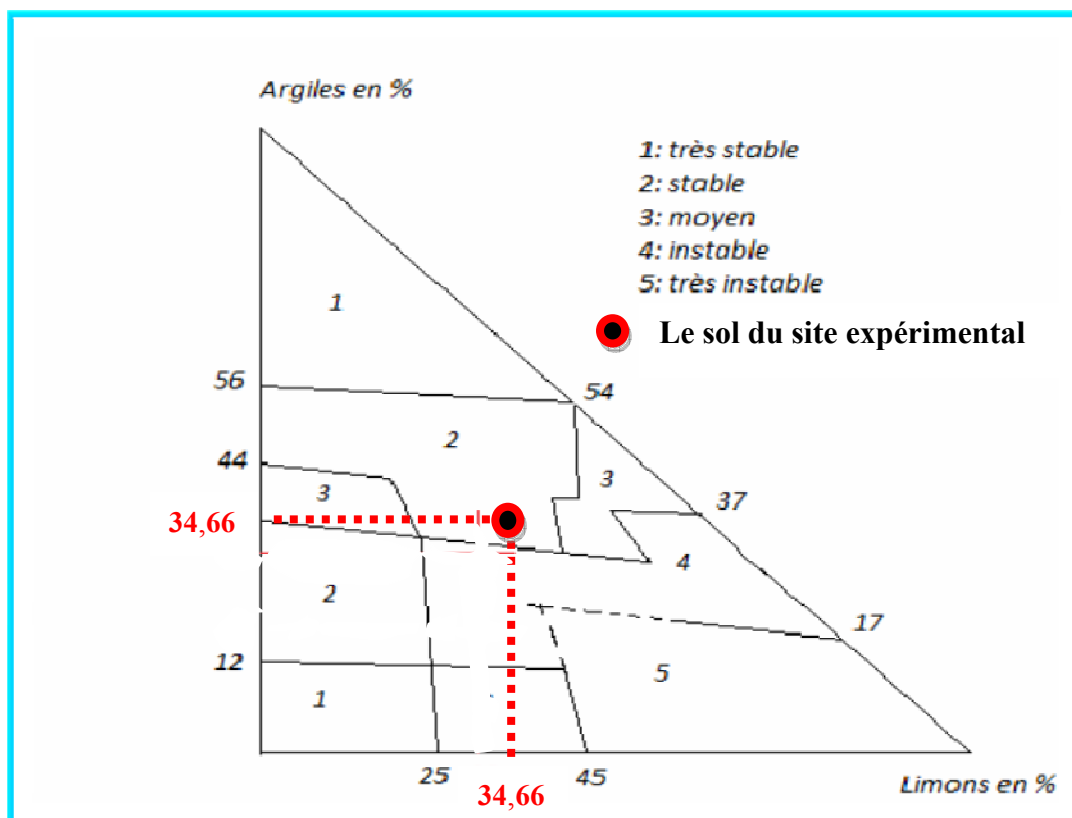


Figure 04. La stabilité structurale du sol du site expérimental selon le triangle des textures du Groupe d'Étude des Problèmes de Pédologie Appliquée (GEPPA) (Soltner, 2005).

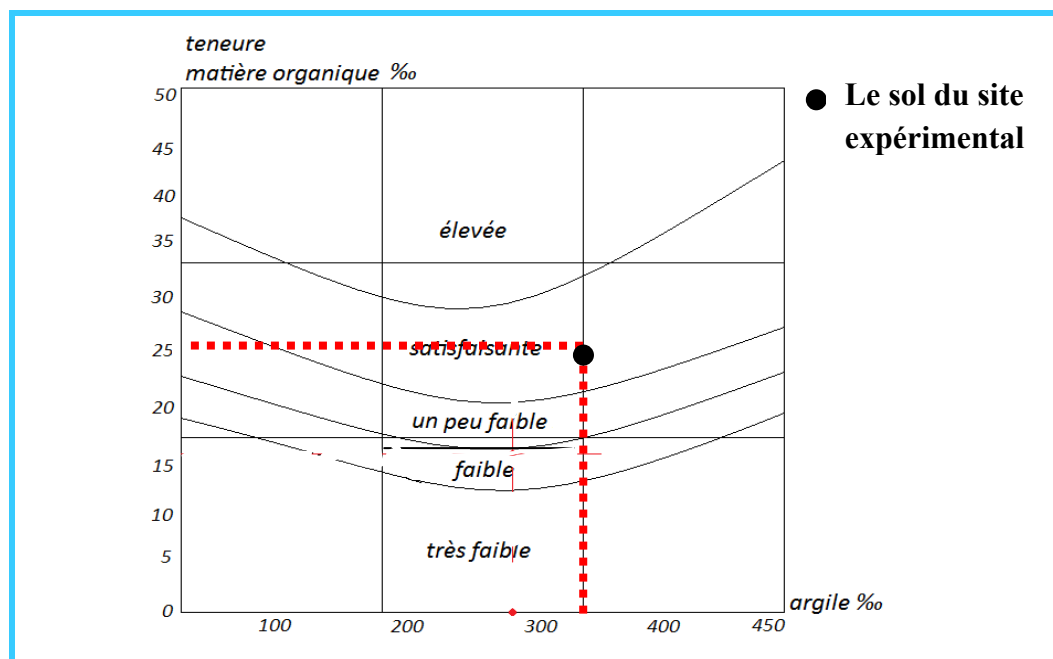


Figure 05. Niveau de la matière organique du sol du site expérimental (Graphique des laboratoires SCPA). Soltner, (2005).

II.1.3 Le climat

La zone d'étude se situe dans l'étage bioclimatique semi-aride (Figure 06), elle est soumise au régime climatique des hauts plateaux (Baldy, 1986), qui se caractérise par des hivers froids, une pluviométrie irrégulière, des gelées printanières et des vents chauds et desséchants en fin de cycle de la céréale. Ces caractéristiques sont la résultante de la triple influence de l'Atlas Tellien (qui limite les précipitations hivernales), de l'Atlas Saharien et du Sahara (qui sont à l'origine de vents secs et desséchants qui peuvent intervenir dès le printemps) et l'altitude (qui entraîne des gelées tardives) (Bouzerzour et Monneveux, 1992).

Les données utilisées pour caractériser l'état climatique de la région d'étude concernent trois (03) périodes (1913-1937), (1995-2008) et celles de la campagne de l'étude (2010/2011). La première est présentée par les données de Seltzer (1946) allant de 1913 à 1937 (25 ans), la deuxième et la troisième période sont représentées par des données climatiques récentes recueillies au niveau de la station météorologique de Sétif (altitude : 970 m).

II.1.3.1 Températures

En analysant les données de la période 1995-2008, nous constatons que janvier est le mois le plus froid avec une température moyennes de 5,6°C. Juillet est le mois le plus chaud

avec une température moyenne de 26,3°C. La moyenne maximale dans la région est notée pour le mois de juillet (33,9°C). La valeur thermique minimale est enregistrée pour le mois de janvier (01 C°). En comparant entre les deux périodes (1913-1937 et 1995-2008), il en ressort que la température a augmenté dans la région de 0,8°C pour janvier, le mois le plus froid, et de 1,6°C à Sétif pour le mois le plus chaud. Ceci montre une véritable tendance à une augmentation des températures dans les deux périodes. Durant la période expérimentale, la moyenne de la température est de 12,2 C°. La température moyenne mensuelle la plus élevée est enregistrée au mois de septembre (21,02 C°), alors que la plus basse, elle est enregistrée au mois de février (5,42 C°) (Annexe 03).

II.1.3.2 Précipitations

Pour la période (1913-1938), janvier est le mois le plus pluvieux, avec une moyenne de 60 mm, alors que pour la période (1995-2008), on note un maximum de pluies durant le mois d'avril avec 51,3 mm. Par ailleurs, juillet reste le mois qui reçoit le minimum de précipitations pour les deux périodes (1913-1938) et (1995-2008).

La remarque la plus importante dans la comparaison des deux périodes considérées c'est la différence dans le total des précipitations des deux périodes. La période 1913-1938 est plus arrosée avec une différence de 53,1 mm par rapport à la période 1995-2008. Ceci dénote d'une baisse de précipitations au cours des dernières décennies.

Durant la période expérimentale (Figure 08), on a enregistré 408,7 mm allant du mois de septembre à juin, la répartition de la pluviométrie est aléatoire, elle est variable d'un mois à l'autre, le mois de février est le plus pluvieux (121 mm), par contre le mois de septembre est le plus sec (3,4 mm). Les précipitations enregistrées durant l'automne, l'hiver et le printemps sont respectivement 99,4 mm, 154,3 mm et 140,6 mm. en fin, il apparaît clairement que le climat dans la région d'étude est caractérisé par une grande variabilité intra et inter-annuelle.

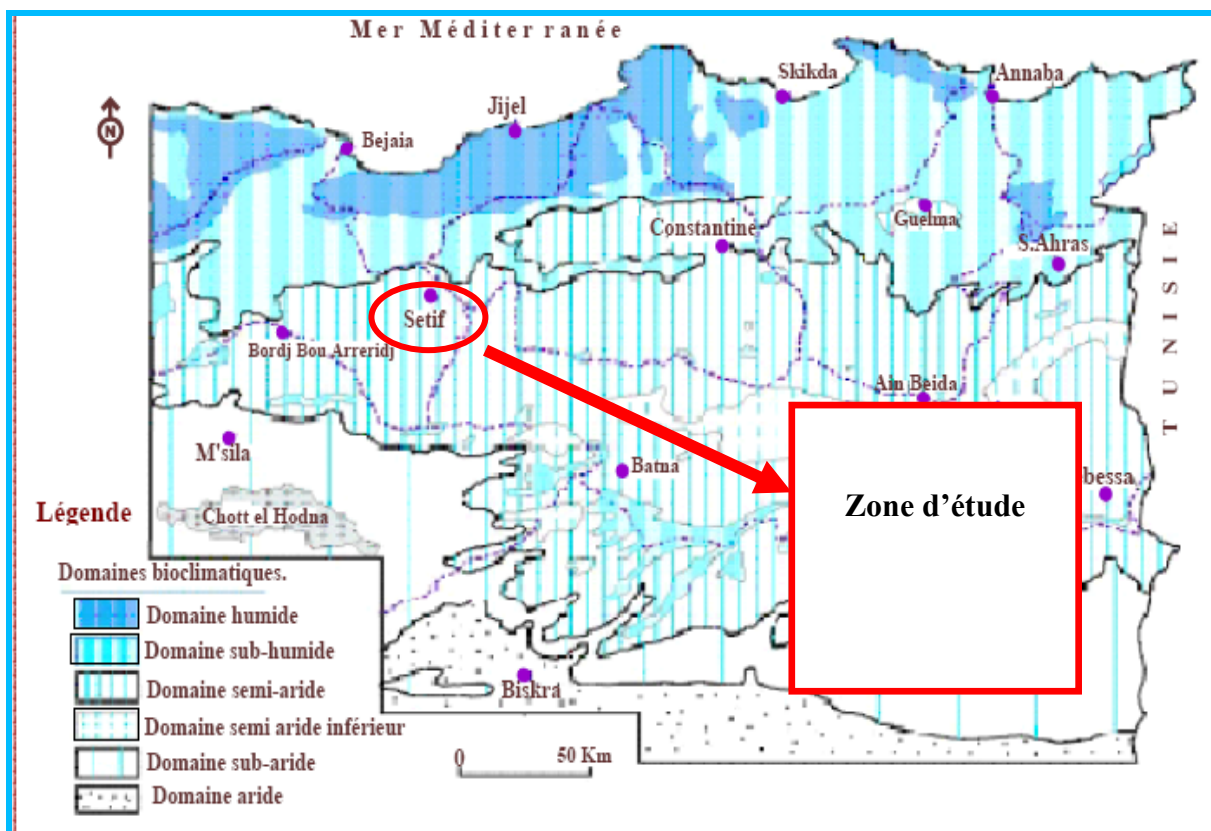


Figure 06. Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien (Côte M, 1998 in Gouaidia, 2008).

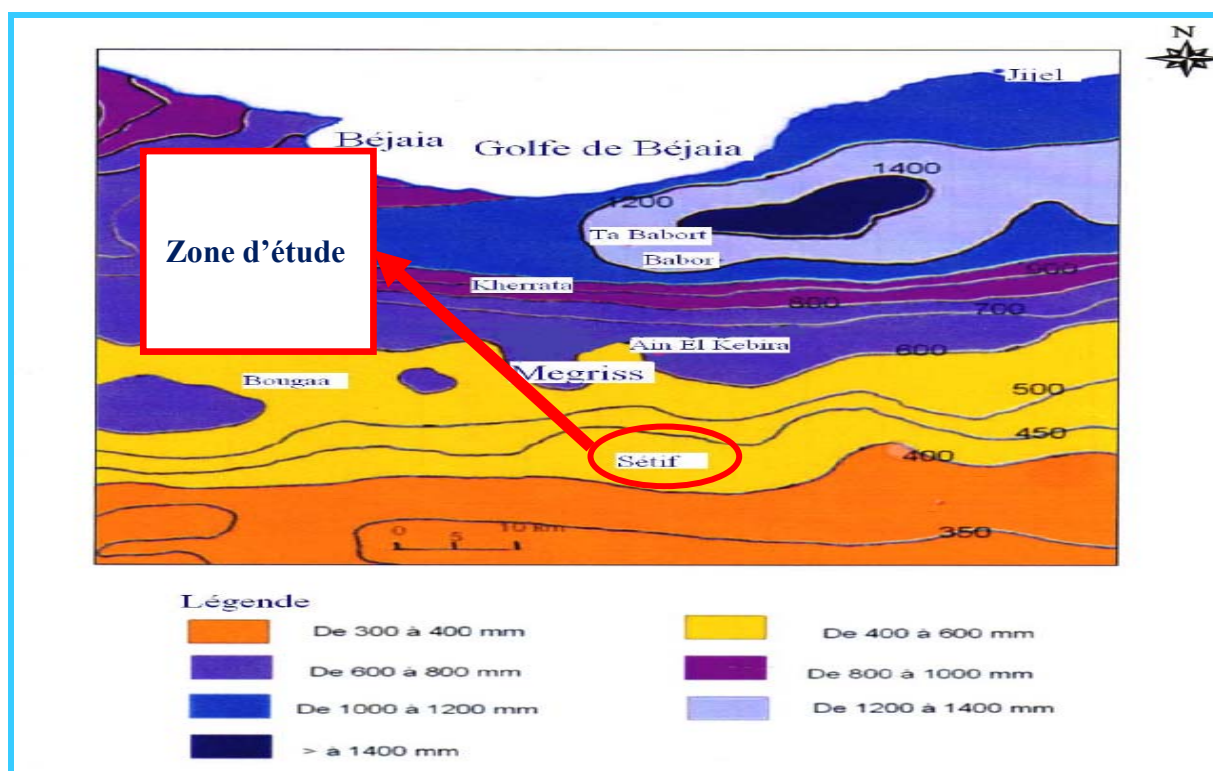


Figure 07. Carte pluviométrique de l'Algérie A.N.R.H (1993) in Benslimane *et al.*, (2008).

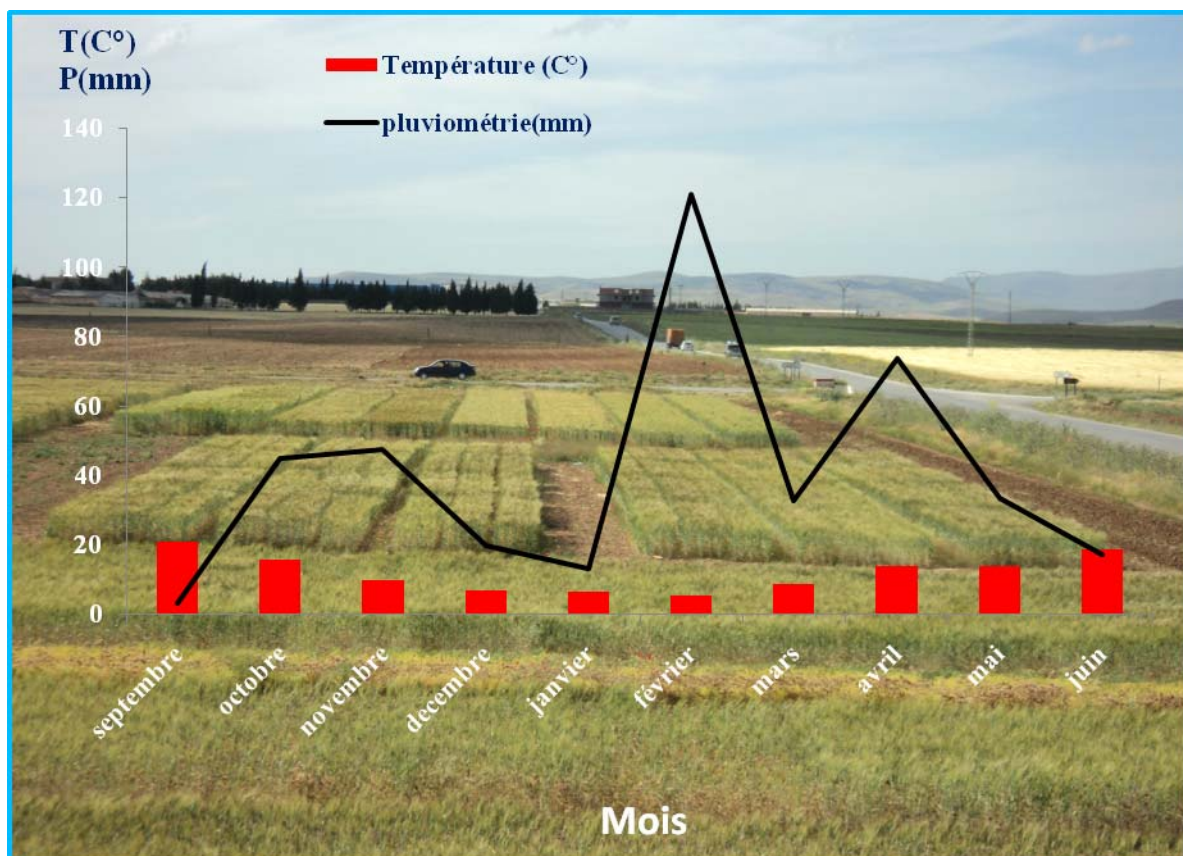


Figure 08. Moyennes mensuelles de la pluie et de la température de la campagne 2010/2011.

II.2 Mise en place de l'expérimentation

L'expérimentation a été mise en place durant l'année 2010/2011, le matériel végétal est semé le 28 novembre 2010 à une dose de 129 kg.ha^{-1} à l'aide du semoir direct type SEMEATO (Figure 09) sur des parcelles élémentaires avec des dimensions assez importantes de 2,72 m de largeur (16 rangs avec un espace inter-rang de 17 cm) et de 17 m de longueur, soit une superficie parcellaire de $46,24 \text{ m}^2$ dans un dispositif à randomisation complètement aléatoire avec trois répétitions. Le précédent cultural est une légumineuse (pois) cultivé en semis direct (2009/2010).



Figure 09. Opération du semis direct à l'aide du semoir SEMEATO.

On a estimé le taux de couverture du sol par les résidus du précédent cultural par la méthode décrite dans la brochure éditée par le (CRAAQ, 2000). A l'aide d'une corde de 7,5 m de long, on a confectionné des nœuds tous les 15 cm de manière à obtenir 50 nœuds, au champ, on a étendu la corde en diagonale par rapport aux rangs de la culture précédente sur la couverture de résidus. On compte le nombre de fois qu'un nœud coïncide avec un résidu en regardant chaque nœud en dessus, en fin on a multiplié le nombre des nœuds compté par deux (2), l'opération a été répétée plusieurs fois. Le pourcentage trouvé est de 30. Combiné au semis, l'apport de 80 kg.ha^{-1} d'engrais de fond mono ammonium phosphate (MAP) de formule 15.52.0, le deuxième apport d'engrais sous forme d'urée à 46 % est appliqué le 21/03/2011.

L'ensemble des génotypes de blé testé comporte huit (08) variétés de blé d'origines différentes :

- ✓ Quatre variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) : Zairi, Mohammed ben bachir (Mbb), Boussalam et Waha.
- ✓ Quatre variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) : Acsad 901, Hiddab 1220, Wifak et Rmada.

II.3 Paramètres étudiés

Pour répondre aux questions de recherche et aux objectifs de ce travail, notre étude est basée sur le couplage de mesures, suivis et notations de paramètres édaphiques d'une part et des paramètres variétaux d'autre part.

II.3.1 Analyse du sol

On a débuté l'expérimentation par un échantillonnage du sol (en zigzag), à l'aide d'une tarière pédologique sur trois (03) horizons : 0-10 cm, 10-20 cm et 20-30 cm, pour obtenir un échantillon composite pèse environ 1 kg pour chaque horizon. Les échantillons ont envoyé au laboratoire d'analyse du sol de FERTIAL sis à Annaba où ils ont fait toutes les analyses à l'exception de la matière organique qui a été analysé au niveau du laboratoire de pédologie de l'Université de Biskra.

II.3.2 Humidité pondérale du sol (%)

Les évolutions des stocks hydriques du sol ont été déterminées tout au long du cycle de développement par la méthode gravimétrique sur les horizons suivants : 0-10 cm, 10-20 cm et 20-30 cm, soit un prélèvement/ géotype :

Les échantillons sont mis dans des boîtes métalliques tarées préalablement, Le poids frais (PF) est obtenu par pesage immédiatement de retour au laboratoire de L'ITGC de Sétif avec une balance de précision marque METLLER, Ensuite, Les échantillons sont mis à l'étuve à 105 C° pendant 24 heures pour l'obtention du pois sec (PS).

L'humidité pondérale est calculé à partir la formule suivante : (Ollier et Poirée, 1981)

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

II.3.3 La densité apparente

La mesure de la masse volumique du sol, est un indicateur du tassement du sol et de la porosité totale du sol. Le 15/04/2011 et 15/06/2011, des prélèvements au cylindre d'un volume (V, cm³) connu, des échantillons non remaniés ont été effectués sur les horizons : 0-10 cm et 10-20 cm. Au laboratoire, on a déterminé le poids (g) du sol contenu dans chaque cylindre après passage à l'étuve à 105 C° durant 24 heures. La densité apparente est calculée selon la formule suivante (Blake et Hartge, 1986) :

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

II.3.4 La porosité du sol (%)

La densité réelle des sols varie peu et celle d'un sol de texture équilibrée est de 2,654 (Baize, 2000). La porosité du sol est estimée aux dates 149 JAS et 201 JAS à partir l'équation suivante : (Lowery *et al.*, 1996) :

$$\text{Porosité} = ((\text{densité réelle} - \text{densité apparente}) / \text{densité réelle}) \times 100$$

II.3.5 La vitesse d'infiltration (cm/h)

Sur le site expérimental, des mesures de la perméabilité à l'aide du dispositif du Muntz, ce dispositif est composé de deux anneaux (Figure 10), l'anneau extérieur sert de garde, pour l'eau apportée et assure une infiltration verticale de l'eau dans l'anneau central (Colombani *et al.*, 1973). Le principe est de mesurer la quantité (Q, cm³) d'eau infiltrée durant une heure dans le sol préalablement saturé d'un cylindre de section connue (S, cm²), et sous une charge constante de 3 cm établie à l'intérieur de l'anneau interne.

La perméabilité K est calculée par la formule suivante :

$$K \text{ (cm/h)} = Q \text{ (cm}^3\text{)} / S \text{ (cm}^2\text{)}$$

Anneau externe

Anneau central

Eau



Figure 10. Dispositif de mesure de la vitesse d'infiltration.

II.3.6 Le profil cultural

Le profil cultural est un outil de diagnostic agronomique qui permet à partir de l'examen d'une couche de sol de tirer des principes d'action pour la pratique agricole (Hénin *et al.*, 1969). De ce fait, le 25 juin 2011, l'une des tranchées destinées à l'étude du système racinaire a fait l'objet d'une description détaillée pour évaluer l'état du sol après trois (03) ans en semis direct (Annexe 02).

II.3.7 Peuplement à la levée

Le nombre de plants levés est estimé à partir le comptage de plants levés /m linéaire, ce dernier est rapporté au m².

II.3.8 Paramètres phénologiques

La durée des phases semis-épiaison et semis-maturité physiologique a été déterminée en nombre de jours après semis.

II.3.9 Paramètres morphologiques

II.3.9.1 La surface foliaire (SF, cm²)

La surface foliaire de la feuille étendard exprimée en cm² est définie comme le produit de la longueur totale (L, cm) par la largeur moyenne (I, cm) des feuilles par 0,7149, d'après Spagnoletti-Zeuli et Qualset, (1990).

$$\text{SF (cm}^2\text{)} = L \times I \times 0.7149$$

II.3.9.2 Le poids spécifique foliaire (PSF « mg/cm² »)

Des feuilles étendards sont pesées immédiatement pour obtenir le poids frais (PF) puis avec les mêmes feuilles on a déterminé la surface foliaire (SF). Le poids spécifique foliaire (PSF) est déterminé par la formule suivante (Asseng *et al.*, 2003)

$$\text{PSF (mg/cm}^2\text{)} = \text{PF} / \text{SF}$$

II.3.9.3 La hauteur de la plante (HT, cm)

Des échantillons de plantes pour chaque génotype, ont été mesurés aux stades épiaison et maturité à partir du ras du sol jusqu'aux sommets des barbes de l'épi.

II.3.9.4 Cinétique d'accumulation de la matière sèche totale (g/m^2)

Le suivi de l'accumulation de la matière sèche totale a été fait durant l'épiaison à la maturité. Un segment de rang de 0,3 m de long, par parcelle élémentaire a été fauché a ras du sol à cet effet, dont le poids de la matière sèche est déterminé par passage du bottillon de la végétation récoltée à l'étuve à une température de 85 C° pendant 24 heures et puis pesage (Hannachi et Fellahi, 2010).

II.3.10 Paramètre physiologiques

II.3.10.1 La teneur relative en eau (TRE « % »)

C'est l'un des principaux paramètres qui indique le niveau hydrique de la plante ou encore la turgescence cellulaire. La teneur relative en eau de la feuille étandard a été déterminée par la méthode décrite par (Serrieys, 1992). Selon cette méthode, trois (03) feuilles sont coupées à la base du limbe. Le poids frais (PF) est obtenu par pesage immédiatement de retour au laboratoire de l'unité de l'INRA de Sétif (Figure 11).

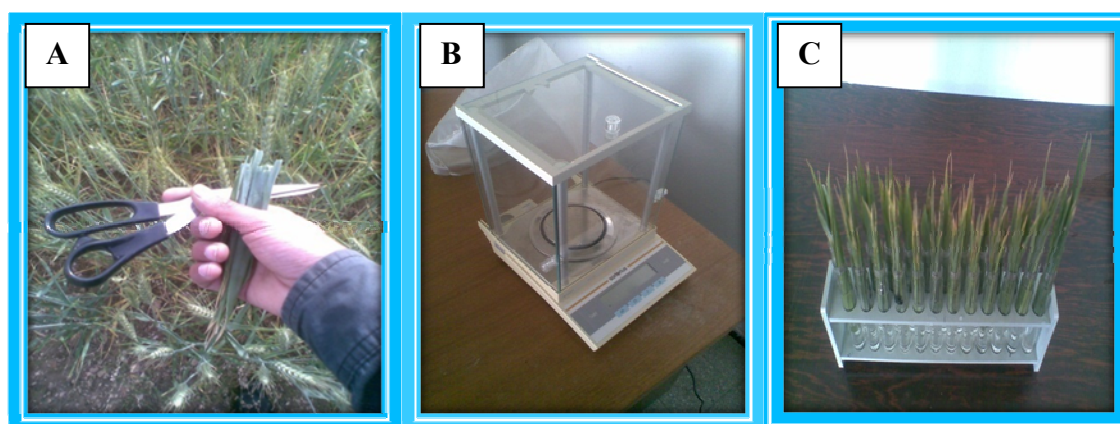


Figure 11. Quelques étapes durant la mesure de la teneur relative en eau (TRE).

A/ La coupe des feuilles au champ.

B/ La balance de précision marque SARTORIUS.

C/ La mise des feuilles dans des tubes à essai contenant l'eau distillée.

Ces feuilles sont mises par la suite dans des tubes à essai contenant de l'eau distillée et placées à l'obscurité dans un endroit frais, après 4 heures, les feuilles sont retirées, passées dans un papier buvard pour absorber l'eau de la surface, pesées de nouveau pour obtenir le

poids turgide (PT) à saturation hydrique. les feuilles sont enfin mis à l'étuve à 85°C pendant 24h et pesés pour avoir leur poids sec (PS). La teneur relative en eau est calculée par la formule de (Clark et Mac-Caig, 1982 ; Matin *et al.*, 1989; Ali *et al.*, 1999) :

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

II.3.10.2 Taux de déperdition de l'eau (TDE « g.10³ /cm²/mn »)

C'est une méthode qui permet l'identification des génotypes de blé adaptés à des conditions défavorables. Elle permet d'évaluer le taux de déperdition d'eau des feuilles excisées de la manière suivante (Monneveux, 1991) :

$$\text{TDE (g.10}^3\text{ /cm}^2\text{/mn)} = [(Pi - P2h) / PS]. [1/SF.120_{mn}]$$

Avec :

Pi : poids initial de la feuille ;

P2h : poids de la feuille (trempée dans l'eau distillée pendant 2h) ;

PS : poids sec de la feuille (24 heure à 80 C°) ;

SF : la surface foliaire de la feuille.

II-3-11 L'efficacité d'utilisation de l'eau (g/m²/mm)

L'efficacité d'utilisation de l'eau est exprimée par le rapport entre le rendement grain ou la biomasse totale et l'évapotranspiration (elle est calculée par le logiciel ET₀ Calculator selon l'équation Penman Monteith (FAO)) pour chaque parcelle élémentaire. Elle a été calculée en prenant en considération les rendements biologiques (paille et grain) et ceux en grains. Elle est exprimée par g/m²/mm.

$$\text{EUE}_{\text{Biomasse}} (\text{g/m}^2\text{/mm}) = \text{Rendement biologique} / \text{ETR}$$

$$\text{EUE}_{\text{Grain}} (\text{g/m}^2\text{/mm}) = \text{Rendement en grain} / \text{ETR}$$

II-3-12 Etude du comportement de système racinaire

L'étude des systèmes racinaires des huit (08) variétés a été effectuée au stade maturité dans des fosses creusées en bordure des parcelles (vu la pénibilité de l'opération, elle été effectuée une seule fois pour chaque variété). La technique de caractérisation des enracinements utilisée est celle décrite par (Tardieu et Manichon, 1986). Les fosses ont été

creusées perpendiculairement aux rangs et, des faces verticales ont été bien préparées (0,92 m de longueur et 0,6 m de largeur chacune) (Figure 12). Les racines ont été visibles en décapant au couteau chaque face sur quelques millimètres d'épaisseur. Une grille en bois de dimensions intérieures 32 cm × 32 cm, l'intérieur de la grille est délimité en mailles de 2 cm × 2 cm de côté par du fil. La grille a été placée sur la face, et la présence ou l'absence de contacts racinaire a été notée pour chaque maille (un contact racinaire est l'intersection d'au moins une racine avec le plan observé) (Figure 13). La grille a été déplacée de façon à pouvoir évaluer le système racinaire à partir deux (02) critères :

- ✓ **La fréquence de contact racinaire (%)** : Est calculée pour chaque horizon du profil.
- ✓ **La profondeur d'enracinement (cm)** : La profondeur maximale à laquelle au moins un contact racinaire a été observé.



Figure 12. Fosse creusée pour l'étude du système racinaire.



Figure 13. Comptage du système racinaire.

II.3.13 Le rendement et ses composantes

A maturité, on a mesuré les rendements en grain et en paille et les composantes du rendement. Ces composantes sont déterminées à partir de la végétation des bottillons récoltés sur un segment de rang de 1 m de long/génotype/répétition.

- ✓ **Le nombre d'épi/m² (NE)** : Est estimé à partir le comptage de nombre d'épi /m linéaire, ce dernier est rapporté au m².

Le poids de mille grains (PMG) : Est déterminé par comptage et pesage de 250 graines.

- ✓ Le nombre de grains / épi (NGE) : Est déterminé par la formule suivante :

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

- ✓ Le nombre de grains au m² (NGM²) : Est le résultat du produit du nombre d'épi/m²(NE) et du nombre de grains /épi (NGE).
- ✓ Le rendement en grain (RDT) : Est estimé à partir le poids (g) des grains produits par m linéaire puis rapporté au (g/m²).
- ✓ Le rendement en paille (PLL) : Est déterminé par pesage de la paille produite par m linéaire puis rapporté au (g/m²).
- ✓ Le rendement économique (RDT économique) : Est la somme du rendement en grain (RDT) et le rendement en paille (PLL).
- ✓ L'indice de récolte(HI) : Est le ratio entre le rendement en grain (RDT) et la matière sèche totale, il est exprimé en pourcentage %.

II.4 Analyse des données

La signification statistique des résultats obtenus au cours de cette expérimentation a été testée par :

- ✓ L'analyse de la variance est réalisée à l'aide de la procédure GLM (general linear model) du logiciel SAS (Statistical Analysis System), version 9.00 (SAS Institute, 2002, Cary, Etats-Unis).
- ✓ Le test de Fisher's LSD (least significant difference method). Il est utilisé pour tester l'hypothèse nulle que toutes les moyennes de la population sont égales. Le seuil de significativité de ce test est de 5%. Les groupes homogènes (non différents significativement) sont symbolisés par une lettre commune.
- ✓ L'analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée à l'aide du logiciel Minitab, version 14.1.
- ✓ Excel 2007, SAS 9.00 et Minitab 14.1 ont servi pour établir les courbes, graphes et quelques figures.

Résultats et discussion

CHAPITRE III- RESULTATS ET DISCUSSION

-L'évaluation à court terme de la technique du semis direct comme une nouvelle technologie conservatrice de l'eau du sol à partir de l'étude de leur l'impact sur :

- ✓ L'évolution de l'état hydrique du sol au cours du cycle, la vitesse d'infiltration de l'eau.
- ✓ L'état structural du sol (elle a été appréhendée *via* des mesures de la densité apparente, l'estimation de la porosité et l'observation du profil cultural).

III.1 L'état hydrique du sol

L'analyse de la variance de l'humidité pondérale durant le cycle de la culture montre une différence très hautement significative entre les profondeurs (0-10 cm), (10-20 cm) et (20-30 cm) dans la date (0 JAS) seulement (Tableau 05).

Tableau 05. Carrés moyens de l'analyse de la variance de l'humidité pondérale.

Source de variation	Ddl	0 JAS	37 JAS	67 JAS	93 JAS	106 JAS	126 JAS	136 JAS
Profondeur	2	0,56 ^{***}	0,002 ^{NS}	2,63 ^{NS}	3,07 ^{NS}	1,27 ^{NS}	0,19 ^{NS}	3,29 ^{NS}
Résiduelle	14	0,00005	1,7122	0,52	1,43	0,62	2,26	4,53
CV %	/	0,051	6,75	3,39	4,68	3,34	6,59	9,53
Source de variation	Ddl	148 JAS	157 JAS	164 JAS	176 JAS	190 JAS	200 JAS	
Profondeur	2	1,89 ^{NS}	0,47 ^{NS}	1,06 ^{NS}	15,14 ^{NS}	0,09 ^{NS}	6,67 ^{NS}	
Résiduelle	14	4,17	1,62	2,3	6,55	1,71	2,33	
CV %	/	9,19	6,17	11,71	23,21	8,51	8,12	

Ddl : degré de liberté. ^{NS}, *, ** et *** : effet non significatif, significatif, hautement significatif et très hautement significatif au seuil de 5%, 1% et 0,1% respectivement. CV : coefficient de variation.

L'analyse des moyennes (Tableau 06) de l'humidité pondérale des trois profondeurs à la date de semis (0 JAS) révèle que l'humidité pondérale varie selon les profondeurs 0-10 cm, 10-20 cm et 20-30 cm de 15,12, 14,7 et 14,62 % respectivement. La $ppds_{5\%} = 0,0079$. Radford *et al.*, (1992) ont trouvé que l'humidité du sol dans les parcelles conduites en semis direct est supérieure de 28% qu'en conventionnel au semis.

Nouri *et al.*, (2004), affirment que le semis direct valorise mieux les apports d'eau en préservant la quantité d'eau présente dans le sol que le travail conventionnel en plus. Bourguignon (2004) sur des sols argilo-calcaires tunisiens, affirme également que l'évolution de l'humidité du sol passe de 10,6 à 17,3 % en semis direct de l'année 2001 à 2004.

Tableau 06. Comparaison des moyennes de l'humidité pondérale du sol pour les différentes profondeurs à la date (0 JAS). Test Fisher (LSD), seuil de 5%.

Profondeurs (cm)	Moyenne de l'humidité pondérale (%)	0 JAS Regroupements
0-10	15,12	a
10-20	14,7	b
20-30	14,62	c
Ppds 5%	0,0079	

Les moyennes ayant une lettre en commun ne sont pas différentes significativement au seuil de 5%.

La conservation de l'eau est un paramètre important de qualité du sol. Elle constitue souvent un facteur limitant dans la productivité en agriculture. Le choix d'une technique de travail du sol repose essentiellement sur son aptitude à permettre au sol de stocker l'eau et la rendre disponible aux racines particulièrement dans les climats à faible pluviométrie.

Les moyennes (toutes les dates confondues) de l'humidité pondérale varient selon les profondeurs 0-10, 10-20 et 20-30 cm de 19,56, 19,39 et 18,86 % respectivement (Figure 14). Il apparaît à travers cette expérimentation que la technique du semis direct garde une humidité de surface plus élevée que celle mesurée en profondeur, ceci est en accord avec les travaux de Klein *et al.*, (2002), où ils ont trouvés que le semis direct améliore l'humidité du sol de l'horizon superficiel grâce à la présence d'un mulch en surface qui limite l'évaporation et augmente la rétention en eau dans les premiers centimètres de sol (Blanco-Canqui et Lal, 2007; Huwe, 2003; Lal *et al.*, 2007).

Le suivi de l'humidité du sol au cours du cycle montre de grandes fluctuations. Elle varie de 9,6 à 26,18 % (Figure 15). Ces variations sont le résultat de l'interaction de la composante "pluie, température, vent et radiations " avec le stade de développement de la culture. Les variations de ces teneurs en eau sont aussi fonction de l'interaction complexe

entre les mécanismes hydrauliques du sol (remontée capillaire, percolation, drainage) d'une part et le développement du système racinaire d'autre part.

Généralement, on admit que l'humidité du sol est accrue sous les systèmes de culture sous couverture végétale suite à la réduction de l'évaporation et du ruissellement (Al-Kaisi *et al.*, 2005; Alvarez *et al.*, 2001 ; Dao, 1998; Fortin *et al.*, 1996) et à une plus grande capacité de rétention d'eau. Par ailleurs, le paillis végétal amortit les amplitudes thermiques dans le sol (Arreola Tostado, 1996; Findiling, 2001; Reyes Gomez, 2002). Le sol se réchauffe plus lentement lorsqu'il n'est pas travaillé (Balesdent *et al.*, 2000).

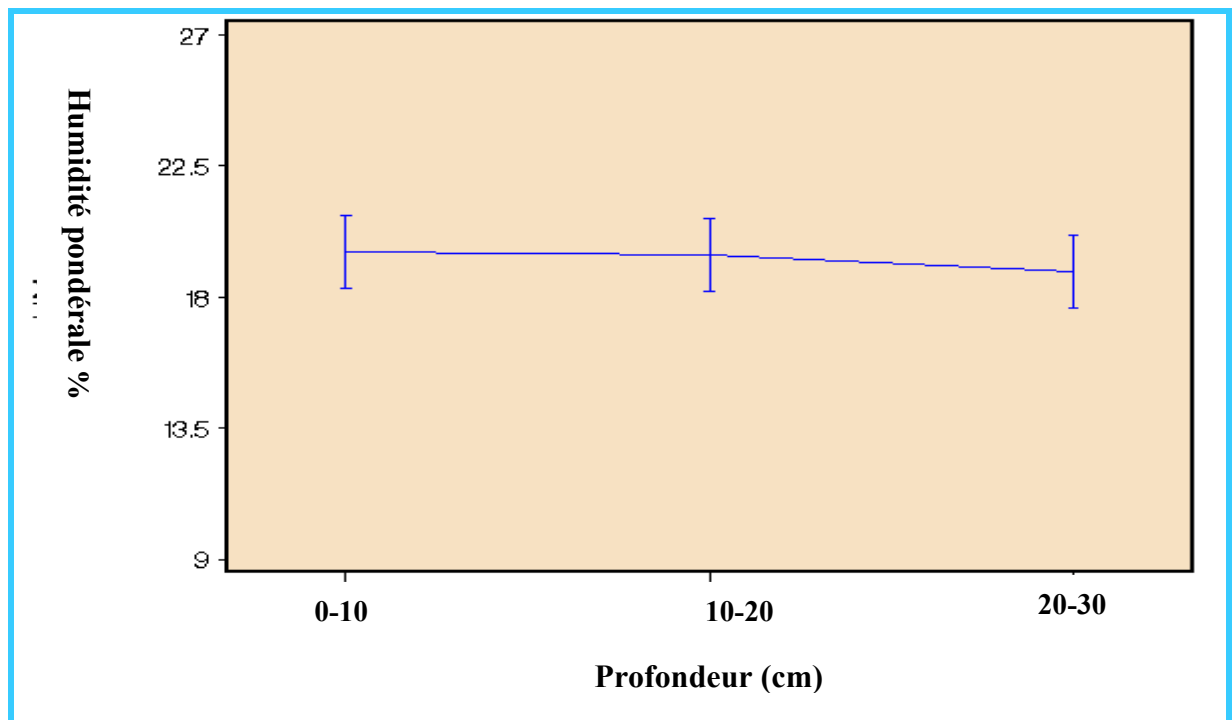


Figure 14. Valeurs moyennes de l'humidité pondérale du sol de différentes profondeurs au cours du cycle.

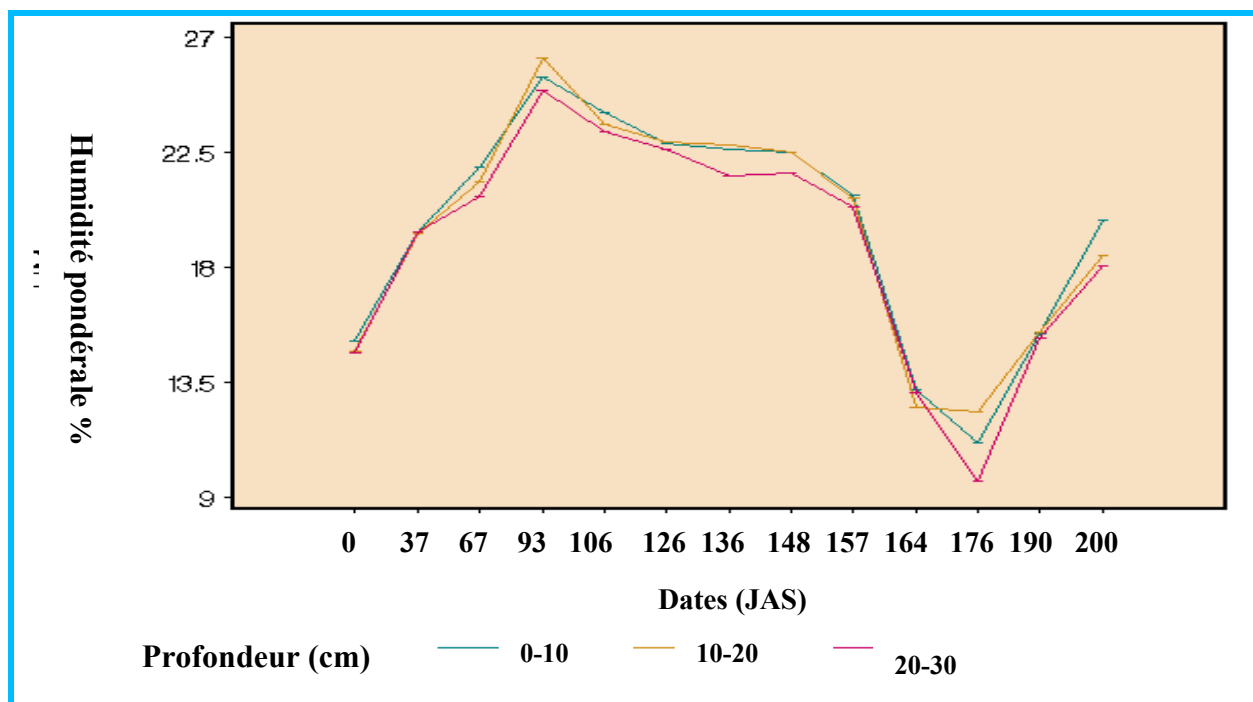


Figure 15. Évolution de l'humidité du sol au cours du cycle pour toutes les profondeurs.

III.2 La densité apparente

L'analyse de la variance de la densité apparente du sol ne montre aucune différence significative entre les deux profondeurs (0-10 cm) et (10-20 cm) aux deux dates d'échantillonnage (149 JAS) et (201 JAS) (Tableau 07), ce qui reflète que la densité apparente du sol change peu durant un cycle (Figure 16). Ce résultat est confirmé par une étude menée durant la campagne (2009/2010) par Hannachi et Fellahi (2010) dans le même site où s'est déroulée notre expérimentation, ils ont noté que le changement de la densité apparente en semis direct sans couverture végétale est plus important qu'en semis direct avec couverture végétale (taux de couverture : 30 % et 60 %).

Tableau 07. Carrés moyens de l'analyse de la variance de la densité apparente du sol.

Source de variation	Ddl	149 JAS	201 JAS
Profondeur	1	0,0005 ^{NS}	0,00001 ^{NS}
Résiduelle	14	0,003	0,0014
CV %	/	4,74	2,87

Ddl : degré de liberté. ^{NS}, *, ** et *** : effet non significatif, significatif, hautement significatif et très hautement significatif au seuil de 5%, 1% et 0,1% respectivement. CV : coefficient de variation.

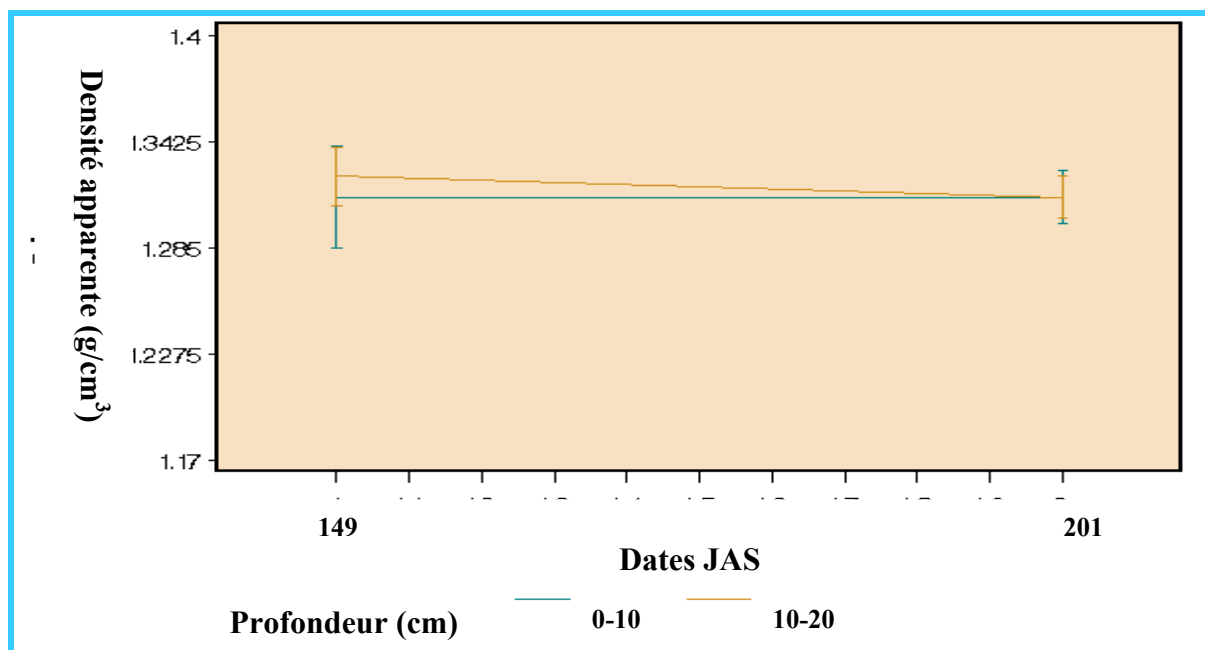


Figure 16. L'évolution de la densité apparente.

La question du changement de la densité apparente se pose essentiellement en semis direct en raison de l'absence complète du travail du sol. De ce fait, la création de la porosité est alors essentiellement d'origine biologique (lombrics, développement racinaire). Tebrüge et Düring (1999) ont montré qu'après plus de 5 ans, la biomasse lombricienne était de 180 kg ha⁻¹ pour le labour, 500 kg ha⁻¹ pour le travail superficiel et 1500 kg ha⁻¹ pour le semis direct. Des études actuelles mettent en valeur les points suivants :

- ✓ A court terme (inférieur à 10 ans), en semis direct on constate fréquemment une augmentation de la densité apparente dans les vingt (20) premiers centimètres (Culley *et al.*, 1987 ; Rassmussen, 1999; Kay et VandenBygaart, 2002; Lampurlanés et Cantero-Martinez, 2006; Strudely *et al.*, 2008). Selon Kay et VandenBygaart, (2002), il s'agit d'une période transitoire, où la création de porosité liée au travail du sol est compensée par l'activité biologique. Ainsi, il est possible de constater une augmentation de la porosité dans les cinq premiers centimètres du sol. Kay et VandenBygaart (2002), expliquent ce fait par la présence des résidus incorporés au sol et par l'activité induite de la macrofaune.
- ✓ A long terme, en revanche, il semble que les différences entre le système conventionnel et le semis direct se réduisent. L'absence du travail du sol semble être compensée par l'activité biologique (Huwe, 2003 ; Munkholm *et al.*, 2003; D'Haene *et al.*, 2008). Par contre, la densité apparente de la couche de sol de surface (0-5 cm) est favorisée dans les systèmes de semis direct ou de travail du sol réduit par rapport

à un labour en raison de la présence d'un mulch en surface (Blanco-Canqui et Lal, 2007; Guérif, 1994; Tebrügge et Düring, 1999).

III.3 La porosité du sol

L'analyse de la variance de la porosité du sol ne montre aucune différence significative entre les deux profondeurs (0-10 cm) et (10-20 cm) aux deux dates d'échantillonnage (149 JAS) et (201 JAS) (Tableau 08).

Tableau 08. Carrés moyens de l'analyse de la variance de la porosité du sol.

Source de variation	Ddl	149 JAS	201 JAS
Profondeur	1	5,59 ^{NS}	0,02 ^{NS}
Résiduelle	14	5,24	2,02
CV %	/	4,57	2,72

Ddl : degré de liberté. ^{NS}, *, ** et *** : effet non significatif, significatif, hautement significatif et très hautement significatif au seuil de 5%, 1% et 0,1% respectivement. CV : coefficient de variation.

Les valeurs de la porosité du sol sont alentour de 50 %. Ce résultat est lié directement à la densité apparente qui ne présente pas un changement remarquable durant l'expérimentation. De nombreuses études ont été menées afin de caractériser la porosité en contexte de non labour. Comme le mentionnent Strudeley *et al.*, (2008), les résultats sont difficile à interpréter car ils peuvent être bruités par d'autre mécanisme (humectation, dessiccation et tassement). Pour Tebrügge *et al.*, (1999) et Strudeley *et al.*, (2008), le non-labour est caractérisé par une diminution de la macroporosité qui est, d'origine, créée par le labour. Donc, la porosité du sol est en général réduite dans les systèmes de conservation mais, tout comme les systèmes biologiques, ils favorisent la formation de macro-pores d'origine biologique. Ces changements s'opèrent progressivement et les différences entre les systèmes sont mesurables après plusieurs années de différenciation.

III. 4 La vitesse d'infiltration

Les valeurs de la vitesse d'infiltration varient de 8,47 cm/h à 71,63 cm/h, avec une valeur moyenne de 31,32 cm/h. Les grands écarts entre les valeurs de la vitesse d'infiltration

sont la résultante de l'interaction de plusieurs facteurs tels que : la répartition inégale des résidus sur la surface du sol, la présence de pierres et la nature de sol dans la région.

En Tunisie, Angar *et al.*, (2010), ont étudiés l'évolution du taux d'infiltration de l'eau dans des parcelles conduites en semis direct, selon la méthode de double anneau dans un essai de longue durée dans trois (03) régions (semi-aride :Borjelifa, semi-aride supérieur : Krib et subhumide: Mateur), ils ont constaté que le taux d'infiltration augmente en fonction de l'ancienneté de la parcelle, pour le site de Borjelifa, elle est passée de 20 à 43 l/h. au Krib, elle est passée de 18 à 43 l/h, après huit compagnes agricoles. Dans la région de Mateur, le taux d'infiltration a augmenté de 40 à 70 l/h.

La conductivité hydraulique est un paramètre communément utilisé pour exprimer la perméabilité d'un sol, dont les conséquences sont importantes, puisqu'une réduction de ce paramètre augmente le risque de ruissellement de surface. Elle s'exprime par un coefficient caractérisant la vitesse à laquelle l'eau s'infiltre dans le sol, selon son état hydrique. Elle est principalement contrôlée par la macroporosité du sol : taille, connectivité et stabilité des vides (Vervoort et Cattle, 2003; Lipiec *et al.*, 2006; Sasal *et al.*, 2006). La macroporosité est elle-même influencée par les pratiques culturales (Pagliai *et al.*, 2004; Hubert *et al.*, 2007) qui modifient la structure du sol.

L'effet du non travail du sol sur la conductivité hydraulique reste controversé car s'il augmente le nombre de biostructures lombriciennes (Ehlers, 1975; Tebrugge et During, 1999; Vandenbygaart *et al.*, 2000; Capowiez *et al.*, 2009), il entraîne généralement une diminution de la macroporosité (Kay et Vandenbygaart, 2002). En conséquence selon le nombre d'années depuis que le sol n'est plus travaillé ou encore selon ses propriétés intrinsèques, les valeurs de conductivité hydraulique peuvent être supérieures, similaires ou inférieures à celles d'un sol travaillé (Strudley *et al.*, 2008).

En contexte de non-labour, il est difficile de caractériser les propriétés hydrodynamiques de la surface (Strudley *et al.*, 2008). La présence des résidus complique la réalisation des mesures *in situ*, *a fortiori* si ces derniers sont grossiers. Peu d'études précisent comment les auteurs s'accommodent de la présence des résidus, notamment quand ils utilisent un infiltromètre à tension car celui-ci nécessite un bon contact entre la membrane de l'appareil et la surface. Lampurlanés et Cantero-Martinez (2006) précisent qu'ils enlèvent les résidus avant l'expérimentation. Ils constatent une infiltration cumulée plus importante en semis direct, mais sans les résidus, quelle est la pertinence de cette mesure ? Trojan et linden (1998) préfèrent couper les résidus avant la mesure de la conductivité hydraulique. La majorité des données provient de mesures réalisées en laboratoire sur des échantillons prélevés au cylindre,

les résultats présentent une grande variabilité. Ainsi, le manque de standardisation des protocoles de mesure de la vitesse d'infiltration en semis direct, notamment concernant la présence de résidus végétaux, rend difficile la comparaison des résultats. Or certains auteurs se demandent si les résidus ne constituent pas des voies préférentielles d'infiltration, surtout quand ils s'imbriquent dans le sol (Blanco-Canqui et Lal, 2007).

III. 5 Le Profil cultural

-Morphologie : plaine.

-Occupation du sol : culture de blé.

Le profil comporte deux horizons d'épaisseurs différentes (Figure 17).

Le 1^{er} horizon à une épaisseur de 36 cm (0-36 cm), de texture argilo-limoneuse, frais ; une structure fragmentaire et une porosité moyenne, la présence de tâches calcaires avec des formes irrégulières et de faible abondance, une forte effervescence avec l'acide chlorhydrique, il est caractérisé par une bonne activité biologique globale grâce à la présence des galeries et des nombreuses racines décelées.

Le 2^{ème} horizon à une épaisseur de 20 cm (36-56 cm), de texture argilo-limoneuse, sec ; une structure fragmentaire et une faible porosité, tâches calcaires abondante avec des formes irrégulières, une forte effervescence avec l'acide chlorhydrique, il est caractérisé par une activité biologique globale faible (présence de racines).

A partir de la description détaillée du profil cultural (annexe 01), les premières conséquences de l'application de semis direct sont apparues timidement au niveau morphologique sur le sol de la parcelle expérimentale après trois (03) ans de sa mise en semis direct car, au niveau morphologique, les conséquences de l'application d'une pratique culturale comme le semis direct prennent une longue période pour apparaître, mais la description du profil cultural du sol du site expérimental (trois (03) ans en semis direct) révèle qu'il y a quelques indices révélant l'incidence du semis direct sur l'état de la structure du sol tels que les différences de l'humidité, de la porosité et l'activité biologique entre les deux horizons du profil cultural (Annexe 01).



Figure 17. Les deux horizons du profil cultural.

-L'étude de l'efficience d'utilisation de l'eau et le comportement d'une collection de variétés de blé (dur et tendre) dans le cadre de la technique du semis direct sous les conditions climatiques de la région semi-aride (cas des hautes plaines sétifiennes).

III.6 Installation de la culture de blé (peuplement à la levée)

A- Blé dur

L'analyse de la variance du nombre de plants levés/m² ne montre aucune différence significative entre les génotypes étudiés (Tableau 09). Cependant toutes les valeurs sont considérées comme égales, et par conséquent tous les génotypes se trouvent dans un même groupe. Le génotype Boussalam a la valeur moyenne la plus élevée (604,8 plants/m²), par contre Zairi prend la valeur moyenne la plus basse (541 plants/m²).

B- Blé tendre

L'analyse de la variance du nombre de plants levés/m² ne montre aucune différence significative entre les génotypes étudiés (Tableau 09). Le génotype Wifak a la valeur moyenne la plus élevée (627,2 plants/m²), par contre Rmada se distingue par la valeur moyenne la plus basse (466,5 plants/m²).

Tableau 09. Carrés moyens de l'analyse de la variance du nombre de plants levés/ m² des génotypes étudiés.

Source de variation	ddl	Plants/m ² (blé dur)	Plants/m ² (blé tendre)
Génotype	3	4333 ^{NS}	16945 ^{NS}
Résiduelle	8	23113	40524
CV%	/	25,83	36,22

Ddl : degré de liberté. ^{NS}, *, ** et *** : effet non significatif, significatif, hautement significatif et très hautement significatif au seuil de 5%, 1% et 0,1% respectivement. CV : coefficient de variation.

Ce résultat est probablement dû à la profondeur régulière d'emplacement des grains et un contact parfait de la graine avec le sol en semis direct (Mrabet, 2001) qui présente l'avantage d'une levée homogène d'où une installation rapide de la culture (Aibar, 2006). Plusieurs études réalisées dans la région comme celle de Hannachi et Fellahi (2010) ; ont

prouvés que le semis direct a un pouvoir de levée plus important que le travail conventionnel, c'est-à-dire, le semis direct réduit considérablement les pertes à la levée comparativement au travail conventionnel. Donc, on pourrait envisager la réduction des doses de semis pour le système de semis direct. Ce qui représente un intérêt économique majeur. En plus, le semis direct semble intéressant dans la région où la préparation du lit de semis est onéreuse et difficile en l'absence de pluie précoce.

La gestion des résidus est primordiale pour la réussite du semis direct, un niveau élevé de résidus en surface peut causer des levées réduites et un début d'enracinement faible, la protection de la surface du sol contre les agents climatiques (pluie, vent, température et radiation) n'est assurée que par un niveau convenable de paillis en surface. Ainsi, on ne peut prétendre introduire le semis direct tout en exportant la totalité des résidus de récolte dans une région où l'élevage est considéré comme une composante principale.

À partir de ces résultats, on peut déduire qu'avec un taux de couverture du sol par les résidus du précédent cultural égale à 30 % on a assuré une levée homogène et une installation rapide des différentes variétés étudiées.

III.7. Date d'épiaison et durée de cycle

A- Blé dur

Les géotypes étudiés diffèrent pour la date de réalisation de l'épiaison. Waha a épié après (151 JAS), il est suivi par Boussalam (156 JAS). En fin, Zairi et Mbb qui ont épié (159 JAS) et (166 JAS) respectivement. Les géotypes Boussalam et Waha accomplissent leurs cycles après 181 et 184 jours, ils ont suivi par Zairi avec une durée de cycle égale à 188 jours, soit un retard de 7 et 4 jours par rapport à Boussalam et Waha respectivement. En fin Mbb avec un cycle de 202 jours (Tableau 10, figure 18).

B- Blé tendre

Le géotype Hiddab 1220 est le plus précoce à l'épiaison (142 JAS), il est suivi par Rmada et Acsad 901 (146 JAS), enfin, le géotype Wifak (148 JAS). Concernant la durée du cycle, Hiddab 1220 achève son cycle en 171 jours, il est suivi par Rmada avec 175 jours, en fin Acsad 901 et Wifak avec (176 jours) (Tableau 10, figure 18).

Le timing des événements phénologiques représente un facteur important pour l'adaptation dans un environnement donné (Richards, 1991 ; Shorter *et al.*, 1991) . La phénologie intervient dans l'adaptation parce qu'elle aide à un meilleur ajustement du cycle de développement de la plante pour l'assortir au climat de l'environnement de production

(Mekhlouf *et al.*, 2006). Dans les conditions semi-arides méditerranéennes, la précocité à l'épiaison et celle à maturité sont souvent utilisées comme critère de sélection et citées comme mécanismes importants dans l'esquive ou l'échappement des contraintes climatiques (Wardlaw *et al.*, 1995).

D'après Blum (1988), la sélection en conditions de stress hydrique conduit à sélectionner des génotypes à cycles précoces dans les conditions favorables. Monneveux (1997) indique que la précocité chez les céréales à paille cultivées en zones méditerranéennes est un mécanisme d'esquive ou d'échappement, qui a d'ailleurs été largement exploité par les agriculteurs et les sélectionneurs ; mais l'augmentation de la précocité n'est toutefois pas sans inconvénients, de nombreux travaux ont montré l'existence d'une relation positive entre la longueur du cycle et le rendement potentiel et en cas de gels tardifs, les génotypes tardifs ont une plus grande probabilité d'éviter cet accident.

Durant notre étude, pour les génotypes de blé dur, on a enregistré une corrélation négative et non significative entre le rendement en grain et la date d'épiaison ($r = - 0,22$) et une corrélation positive et non significative entre le rendement en grain et la durée du cycle ($r = 0,25$). Pour les génotypes de blé tendre, une corrélation positive et non significative entre le rendement en grain et la durée du cycle ($r = 0.67$) ainsi, une corrélation positive et non significative entre le rendement en grain et la date d'épiaison ($r = 0,54$).

Tableau 10. La durée de la période (semis-épiation) et du cycle (jours) des génotypes étudiés.

Génotypes	Semis-épiation (jours)	Cycle (jours)
ZAIRI	159	188
MBB	166	202
BOUSSALAM	156	181
WAHA	151	184
ACSAD 901	146	176
HIDDAB 1220	142	171
WIFAK	148	176
RMADA	146	175

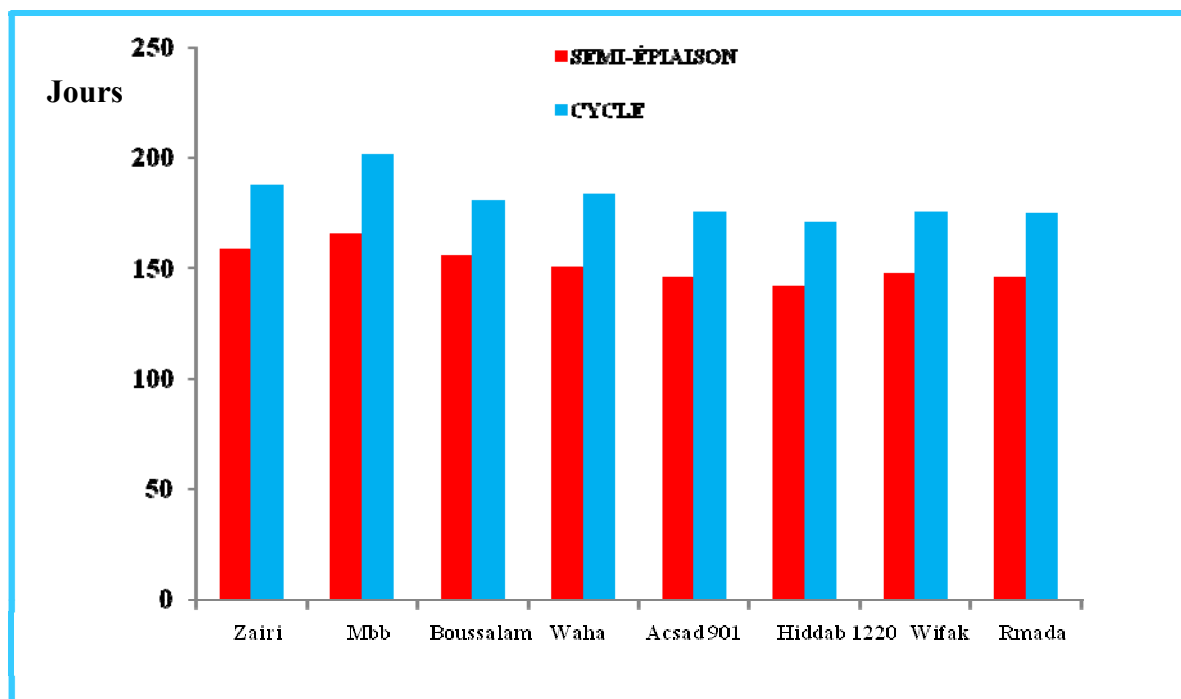


Figure 18. La durée de la période (semis-épiaison) et du cycle (jours) des géotypes étudiés.

III.8. Paramètres morphologiques

III.8.1 La surface foliaire (SF)

A- Blé dur

L'analyse de la variance de la surface foliaire de la feuille étendard indique une différence très hautement significative entre les géotypes étudiés pour les dates (156 JAS), (162 JAS) et (169 JAS) (Tableau 11).

Tableau 11. Carrés moyens de l'analyse de la variance de la surface foliaire (cm²) des géotypes de blé dur.

Source de variation	Ddl	156 JAS	162 JAS	169 JAS
Géotype	3	304,62 ***	322,27 ***	319,11 ***
Résiduelle	8	0,76	0,38	0,46
CV %	/	1,79	1,29	1,44

Ddl : degré de liberté. ^{NS}, *, ** et *** : effet non significatif, significatif, hautement significatif et très hautement significatif au seuil de 5%, 1% et 0,1% respectivement. CV : coefficient de variation.

L'analyse des moyennes (Tableau 12) de la surface foliaire pour les dates (156 JAS), (162 JAS) et (169 JAS) révèle les mêmes groupes homogènes :

- ✓ **Groupe 1** : Boussalam.
- ✓ **Groupe 2** : Waha.
- ✓ **Groupe 3** : Mbb.
- ✓ **Groupe 4** : Zairi.

Le suivi de l'évolution de la surface foliaire de la feuille étendard entre (156 JAS) à (169 JAS) indique qu'elle diminue progressivement chez les différents géotypes.

En fonction des dates d'échantillonnages, la surface foliaire de la feuille étendard varie en (156 JAS) selon les géotypes, de 39,67 cm² pour Zairi à 62,04 cm² pour Boussalam. En (162 JAS), elle varie selon les géotypes, de 38,33 cm² pour Zairi à 61,38 cm² pour Boussalam. En (169 JAS), les valeurs moyennes observées varient selon les géotypes, de 37,72 cm² pour Zairi à 60,75 cm² pour Boussalam (Tableau 12) qui ressort comme le géotype prenant la surface foliaire la plus élevée durant la période (156 JAS) à (169 JAS).

Tableau 12. Comparaison des moyennes de la surface foliaire (cm²) des géotypes de blé dur. Test Fisher (LSD), seuil de 5%.

Géotypes	156 JAS		162 JAS		169 JAS	
	Moyenne de la SF (cm ²)	Regroupements	Moyenne de la SF (cm ²)	Regroupements	Moyenne de la SF (cm ²)	Regroupements
ZAIRI	39,67	d	38,33	d	37,72	d
MBB	42,46	c	41,41	c	41,06	c
BOUSSALAM	62,04	a	61,38	a	60,75	a
WAHA	51,21	b	50,57	b	50,06	b
Ppds 5%	1,64		1,16		1,28	

Les moyennes ayant une lettre en commun ne sont pas différentes significativement au seuil de 5%.

B- Blé tendre

L'analyse de la variance de la surface foliaire de la feuille étendard montre une différence très hautement significative entre les géotypes étudiés pour les dates (156 JAS), (162 JAS) et (169 JAS) (Tableau 13).

Tableau 13. Carrés moyens de l'analyse de la variance de la surface foliaire (cm²) des génotypes de blé tendre.

Source de variation	Ddl	156 JAS	162 JAS	169 JAS
Génotype	3	682,07 ^{***}	685,97 ^{***}	725,49 ^{***}
Résiduelle	8	0,53	1,44	1,21
CV %	/	1,35	2,26	2,11

Ddl : degré de liberté. ^{NS}, *, ** et *** : effet non significatif, significatif, hautement significatif et très hautement significatif au seuil de 5%, 1% et 0,1% respectivement. CV : coefficient de variation.

L'analyse des moyennes (Tableau 14) de la surface foliaire pour la date (156 JAS) révèle trois (03) groupes homogènes :

- ✓ **Groupe 1** : Rmada.
- ✓ **Groupe 2** : Hiddab 1220.
- ✓ **Groupe 3** : Wifak et Acsad 901.

L'analyse des moyennes de la surface foliaire pour la date (162 JAS) fait ressortir trois (03) groupes homogènes :

- ✓ **Groupe 1** : Rmada.
- ✓ **Groupe 2** : Hiddab 1220 et Wifak.
- ✓ **Groupe 3** : Acsad 901.

L'analyse des moyennes de la surface foliaire pour la date (169 JAS) fait ressortir deux (02) groupes homogènes :

- ✓ **Groupe 1** : Rmada.
- ✓ **Groupe 2** : Acsad 901, Hiddab 1220 et Wifak.

Tableau 14. Comparaison des moyennes de la surface foliaire (cm²) des génotypes de blé tendre. Test Fisher (LSD), seuil de 5%.

Génotypes	156 JAS		162 JAS		169 JAS	
	Moyenne de la SF (cm ²)	Regroupements	Moyenne de la SF (cm ²)	Regroupements	Moyenne de la SF (cm ²)	Regroupements
ACSAD 901	45,44	c	44,33	c	44,66	b
HIDDAB 1220	48,68	b	46,87	b	44,29	b
WIFAK	46,19	c	45,27	b	43,93	b
RMADA	76,8	a	75,66	a	75,39	a
Ppds 5%	1,38		2,26		2,07	

Les moyennes ayant une lettre en commun ne sont pas différentes significativement au seuil de 5%.

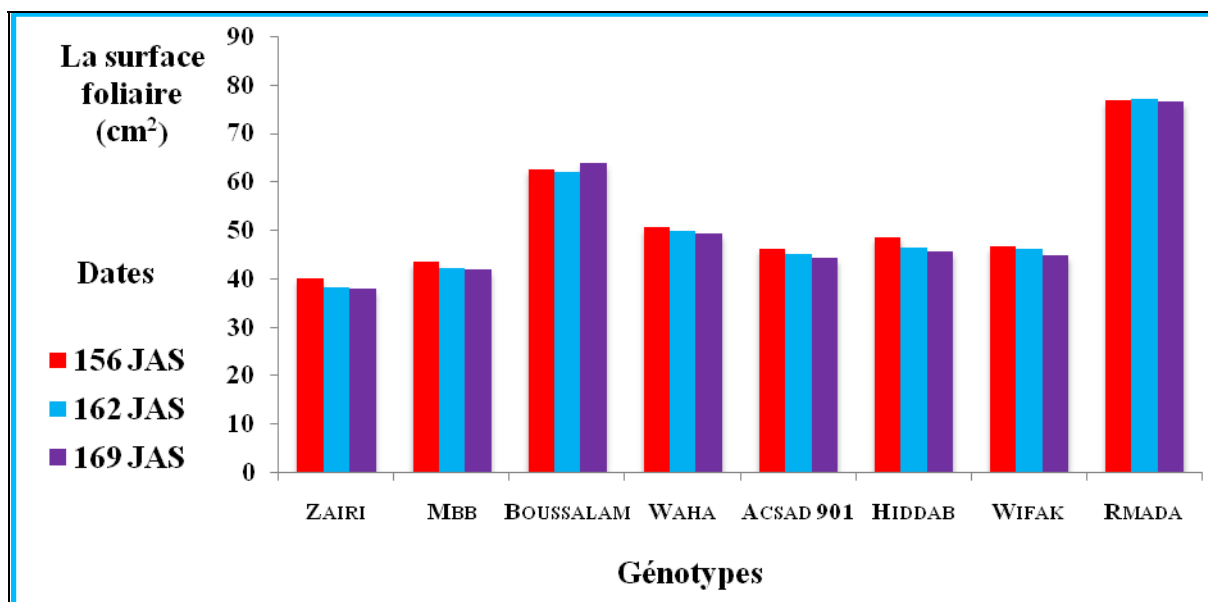


Figure 19. Evolution de la surface foliaire des différents génotypes étudiés.

Le suivi de l'évolution de la surface foliaire de la feuille étendard entre (156 JAS) et (169 JAS) indique qu'elle diminue progressivement chez les différents génotypes (Figure 19). En fonction des dates d'échantillonnages, La surface foliaire de la feuille étendard varie en (156 JAS) selon les génotypes, de 45,44 cm² pour Acsad 901 à 76,8 cm² pour Rmada. En (162 JAS), elle varie selon les génotypes, de 44,33 cm² pour Acsad 901 à 75,66 cm² pour Rmada. En (169 JAS), les valeurs moyennes observées varient selon les génotypes, de 43,93 cm² pour Wifak à 75,39 cm² pour Rmada (Tableau 14) qui ressort comme le génotype prenant la surface foliaire la plus élevée durant la période (156 JAS) à (169 JAS).

La surface foliaire détermine progressivement à la fois les quantités d'eau utilisées par la plante sous forme de transpiration et les quantités de carbone fixées par voie photosynthétique. Elle conditionne la résistance à la sécheresse, vu qu'une surface foliaire élevée perdra plus d'eau qu'une faible surface foliaire. En milieux variables, la diminution de la surface foliaire peut avoir des effets bénéfiques en réduisant la surface évaporante et celle soumise à la radiation solaire. En effet, Selon Blum (1996), la réduction de la surface foliaire est considérée comme une réponse ou adaptation au manque d'eau. Cette réduction est un moyen judicieux pour le contrôle des pertes d'eau. Cette stratégie permet à la plante des économies en eau qui seront utilisées pour la survie au cours du stress et s'adapter à un environnement peu favorable. Or, la réduction de la surface foliaire tend à minimiser les pertes en eau en réduisant la transpiration (Slama *et al.*, 2005).

Selon (Johnson *et al.*, 1973; Adjab, 2002), les plantes à surface foliaire plus grande peuvent tolérer la déshydratation et maintenir un potentiel hydrique élevé. Par contre, Kirkham *et al.* (1980), suggèrent qu'une surface foliaire réduite peut être avantageuse, du fait qu'elle réduit effectivement les pertes en eau totale de la plante. Selon Abbassenne (1997), une variété avec une faible surface foliaire est capable de faire un bon rendement grâce à une meilleure efficacité d'utilisation de l'énergie lumineuse par unité de surface foliaire.

III.8.2 Le poids spécifique foliaire (PSF)

A- Blé dur

L'analyse de la variance du poids spécifique foliaire de la feuille étendard indique une différence très hautement significative entre les génotypes étudiés pour les dates (156 JAS), (162 JAS) et (169 JAS) (Tableau 15).

Tableau 15. Carrés moyens de l'analyse de la variance du poids spécifique foliaire des génotypes de blé dur.

Source de variation	Ddl	156 JAS	162 JAS	169 JAS
Génotype	3	0,000005 ^{***}	0,000005 ^{***}	0,000002 ^{***}
Résiduelle	8	0,0000001	0,0000002	0,0000001
CV %	/	2,61	3,27	2,81

Ddl : degré de liberté. ^{NS}, *, ** et ^{***} : effet non significatif, significatif, hautement significatif et très hautement significatif au seuil de 5%, 1% et 0,1% respectivement. CV : coefficient de variation.

L'analyse des moyennes (Tableau 16) du poids spécifique foliaire pour les dates (156 JAS) et (169 JAS) fait ressortir quatre (04) groupes homogènes :

- ✓ **Groupe 1** : Zairi.
- ✓ **Groupe 2** : Mbb.
- ✓ **Groupe 3** : Waha.
- ✓ **Groupe 4** : Boussalam.

L'analyse des moyennes (Tableau 16) du poids spécifique foliaire pour la date (162 JAS) dégage (03) groupes homogènes :

- ✓ **Groupe 1** : Zairi et Mbb.
- ✓ **Groupe 2** : Waha.
- ✓ **Groupe 3** : Boussalam.

Tableau 16. Comparaison des moyennes du poids spécifique foliaire (cm^2) des géotypes de blé dur. Test Fisher (LSD), seuil de 5%.

Géotypes	156 JAS		162 JAS		169 JAS	
	Moyenne du PSF (mg/cm^2)	Regroupements	Moyenne du PSF (mg/cm^2)	Regroupements	Moyenne du PSF (mg/cm^2)	Regroupements
ZAIRI	0,0164	a	0,016	a	0,01613	a
MBB	0,0157	ab	0,0156	a	0,0152	b
BOUSSALAM	0,0133	c	0,0131	c	0,0138	c
WAHA	0,0151	b	0,0142	b	0,0145	bc
Ppds 5%	0,0007		0,09		0,08	

Les moyennes ayant une lettre en commun ne sont pas différentes significativement au seuil de 5%.

B- Blé tendre

L'analyse de la variance du poids spécifique foliaire de la feuille étendard indique une différence très hautement significative entre les géotypes étudiés pour les dates (156 JAS), (162 JAS), cette différence est devenue hautement significative dans la date (169 JAS) (Tableau 17).

Tableau 17. Carrés moyens de l'analyse de la variance du poids spécifique foliaire des génotypes de blé tendre.

Source de variation	Ddl	156 JAS	162 JAS	169 JAS
Génotype	3	0,00000634 ^{***}	0,00000895 ^{***}	0,00000429 ^{**}
Résiduelle	8	0,00000014	0,00000026	0,00000032
CV %	/	2,40	3,35	3,88

Ddl : degré de liberté. ^{NS}, *, ** et *** : effet non significatif, significatif, hautement significatif et très hautement significatif au seuil de 5%, 1% et 0,1% respectivement. CV : coefficient de variation.

L'analyse des moyennes (Tableau 18) du poids spécifique foliaire pour les dates (156 JAS), (162 JAS) et (169 JAS) fait ressortir les mêmes groupes homogènes :

- ✓ **Groupe 1** : Rmada.
- ✓ **Groupe 2** : Wifak, Acsad 901 et Hiddab 1220.

Un poids spécifique foliaire élevé (Figure 20) est un indicateur d'une meilleure capacité photosynthétique, d'une moindre sensibilité à la photo-inhibition et de la consistance de l'appareil photosynthétique (Araus *et al.*, 1998). L'augmentation du poids spécifique foliaire chez les plantes stressées, selon (Dubey, 1994) est due au rétrécissement des cellules qui provoque une diminution du volume et même du suc intracellulaire ce qui le rend plus concentré.

Tableau 18. Comparaison des moyennes du poids spécifique foliaire des génotypes de blé tendre. Test Fisher (LSD), seuil de 5%.

Génotypes	156 JAS		162 JAS		169 JAS	
	Moyenne du PSF (mg/cm ²)	Regroupements	Moyenne du PSF (mg/cm ²)	Regroupements	Moyenne du PSF (mg/cm ²)	Regroupements
ACSAD 901	0,0147	b	0,0145	b	0,0141	b
HIDDAB 1220	0,0146	b	0,0143	b	0,0139	b
WIFAK	0,015	b	0,0139	b	0,0142	b
RMADA	0,0177	a	0,0176	a	0,0164	a
Ppds 5%	0,0007		0,01		0,0011	

Les moyennes ayant une lettre en commun ne sont pas différentes significativement au seuil de 5%.

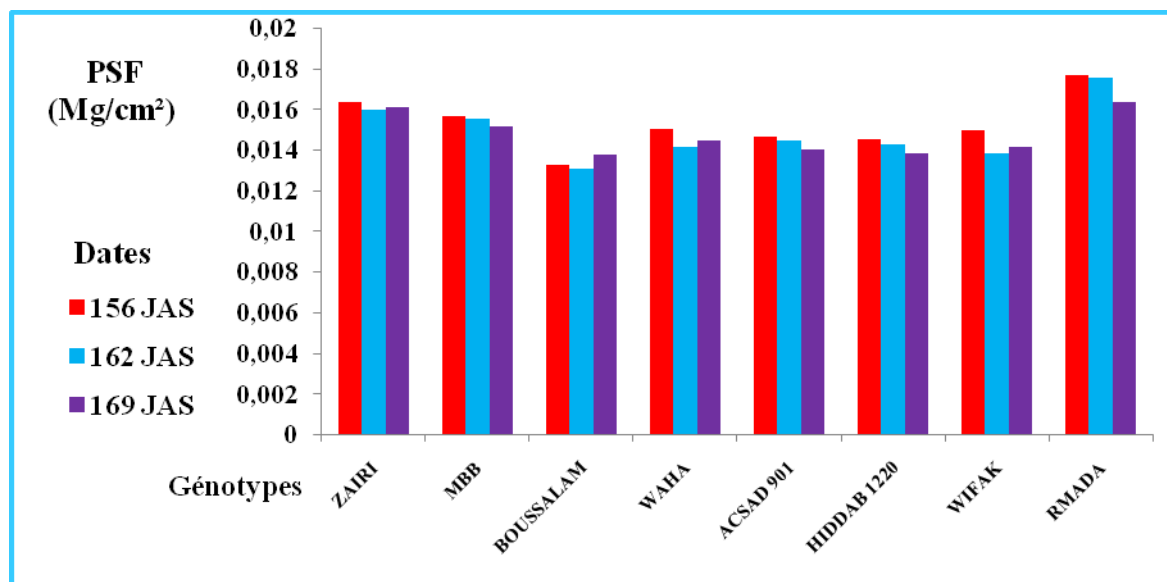


Figure 20.Évolution du poids spécifique foliaire des différents génotypes étudiés.

III.8.3 La hauteur de la plante (HT)

A- Blé dur

L'analyse de la variance de la hauteur de la plante (Tableau 19) indique une différence très hautement significative entre les génotypes évalués à l'épiaison et à la maturité.

Tableau 19. Carrés moyens de l'analyse de la variance de la hauteur de la plante des génotypes de blé dur.

	Ddl	La hauteur à l'épiaison	La hauteur la maturité
Génotype	3	214,62 ^{***}	516,33 ^{***}
Résiduelle	8	6,17	10,78
CV %	/	3,82	3,86

Ddl : degré de liberté. ^{NS}, *, ** et *** : effet non significatif, significatif, hautement significatif et très hautement significatif au seuil de 5%, 1% et 0,1% respectivement. CV : coefficient de variation.

À l'épiaison, l'analyse (Tableau 20) des moyennes révèle trois (03) groupes homogènes :

- ✓ **Groupe 1** : Waha et Mbb.
- ✓ **Groupe 2** : Boussalam.
- ✓ **Groupe 3** : Zairi.

À la maturité, l'analyse (Tableau 20) des moyennes fait ressortir deux (02) groupes homogènes :

- ✓ **Groupe 1** : Mbb.
- ✓ **Groupe 2** : Waha, Zairi et Boussalam.

Tableau 20. Comparaison des moyennes de la hauteur de la plante des génotypes de blé dur à l'épiaison et à la maturité. Test Fisher (LSD), seuil de 5%.

Génotypes	Épiaison		Maturité	
	Moyenne de la HT (cm)	Regroupements	Moyenne de la HT (cm)	Regroupements
ZAIRI	55,26	c	78,98	b
MBB	70,78	a	104,51	a
BOUSSALAM	60,88	b	76,02	b
WAHA	73,33	a	80,65	b
Ppds 5%	4,68		6,18	

Les moyennes ayant une lettre en commun ne sont pas différentes significativement au seuil de 5%.

B- Blé tendre

L'analyse de la variance de la hauteur de la plante (Tableau 21) indique une différence très hautement significative entre les génotypes testés à l'épiaison seulement.

Tableau 21. Carrés moyens de l'analyse de la variance de la hauteur de la plante des génotypes de blé tendre.

	Ddl	HT à l'épiaison	HT à l'épiaison
Génotype	3	160,16 ^{***}	26,44 ^{NS}
Résiduelle	8	3,37	13,46
CV %	/	2,25	4,48

Ddl : degré de liberté. ^{NS}, *, ** et *** : effet non significatif, significatif, hautement significatif et très hautement significatif au seuil de 5%, 1% et 0,1% respectivement. CV : coefficient de variation.

À l'épiaison, l'analyse des moyennes révèle quatre (04) groupes homogènes (Tableau 22) :

- ✓ **Groupe 1** : Hiddab 1220.
- ✓ **Groupe 2** : Rmada.
- ✓ **Groupe 3** : Acsad 901.
- ✓ **Groupe 4** : Wifak.

Tableau 22. Comparaison des moyennes de la hauteur de la plante des génotypes de blé tendre. Test Fisher (LSD), seuil de 5%.

Génotypes	Épiaison	
	Moyenne de la HT (cm)	Regroupements
ACSAD 901	83,16	b
HIDDAB 1220	87,66	a
WIFAK	70,99	c
RMADA	84,5	ab
Ppds 5%	3,45	

Les moyennes ayant une lettre en commun ne sont pas différentes significativement au seuil de 5%.

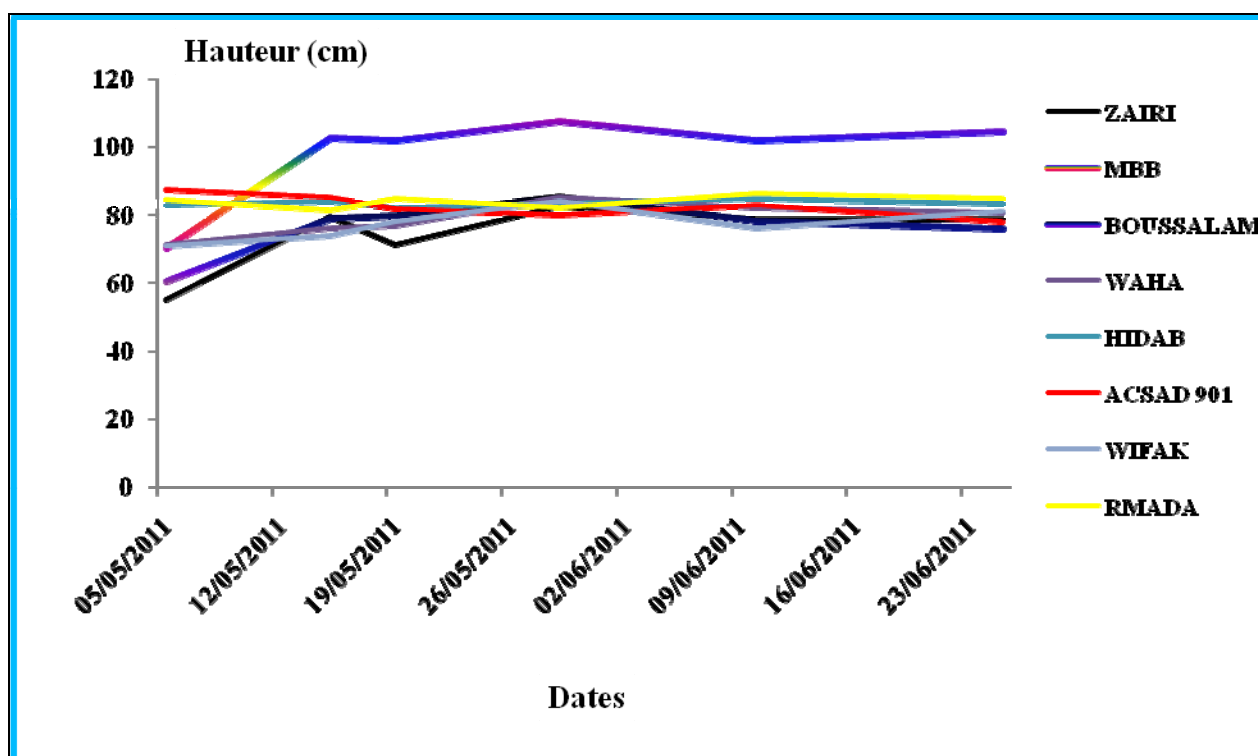


Figure 21. Évolution de la hauteur du chaume des différents génotypes dès l'épiaison.

Entre les stades épiaison et maturité, la hauteur du chaume a changé de manière significative (Figures 21 et 22), chez certains génotypes comparativement à d'autres. En effet, on note que la hauteur a changé peu chez les génotypes Rmada, Hiddab 1220, Acsad 901 et Waha (Figure 25), par contre il y a eu des changements importants chez les variétés Zairi,

Mbb, Boussalam et Wifak (Figure 22). Ces changements varient de 14,11 à 29,56 % de la hauteur atteinte à maturité ; alors qu'ils ne représentent que 0,66 à 9,5 % chez les autres variétés. Ces résultats indiquent que la hauteur est déterminée plus tôt, au cours de la pré anthèse, chez les génotypes Rmada, Hiddab 1220, Acsad et Waha. Pour le reste des génotypes, la taille finale de la plante est atteinte au cours des premiers jours de la phase de remplissage du grain.

Le comportement des génotypes Rmada, Hiddab 1220, Acsad 901 et Waha est plus intéressant parce qu'il y a une variation faible de la hauteur du chaume ; ce qui reflète que ces génotypes sont moins sensibles aux effets des stress tardifs. Pour les autres génotypes, peut-être ils sont sensibles aux stress précoces de la pré anthèse.

Dans les zones semi-arides, la hauteur du chaume serait pertinente pour la sélection de variétés mieux adaptées à la sécheresse. Une paille relativement haute conférerait à la plante, en cas de limitation sévère de l'alimentation hydrique, une meilleure capacité à tolérer la sécheresse. Ce comportement s'expliquerait par des potentiels plus élevés de constitution de réserves glucidiques. Cette contribution de la hauteur du chaume avec les substrats stockés au niveau surtout du dernier entre nœud et du col de l'épi assure un rendement en grain sous stress (Blum, 1988). Nizam Uddin et Marshall (1989) mentionnent que la réduction du rendement, sous stress hydrique, est plus importante chez les variétés naines que chez les variétés hautes, pour un même degré de précocité. La réduction de la hauteur des chaumes est corrélée à une réduction du système racinaire, ceci se traduit par un accroissement de la sensibilité du déficit hydrique (Subbiah *et al.*, 1968). Siddique *et al.* (1989) font remarquer que la corrélation négative, entre l'efficacité d'utilisation de l'eau et la hauteur de plante, est due au fait que les variétés naines valorisent mieux l'humidité du sol. En plus la hauteur du chaume est associée à un système racinaire capable d'aller en profondeur, suggérant l'adoption des variétés hautes dans les environnements à faible pluviométrie et dans des sols où il y a une humidité résiduelle exploitable en profondeur.

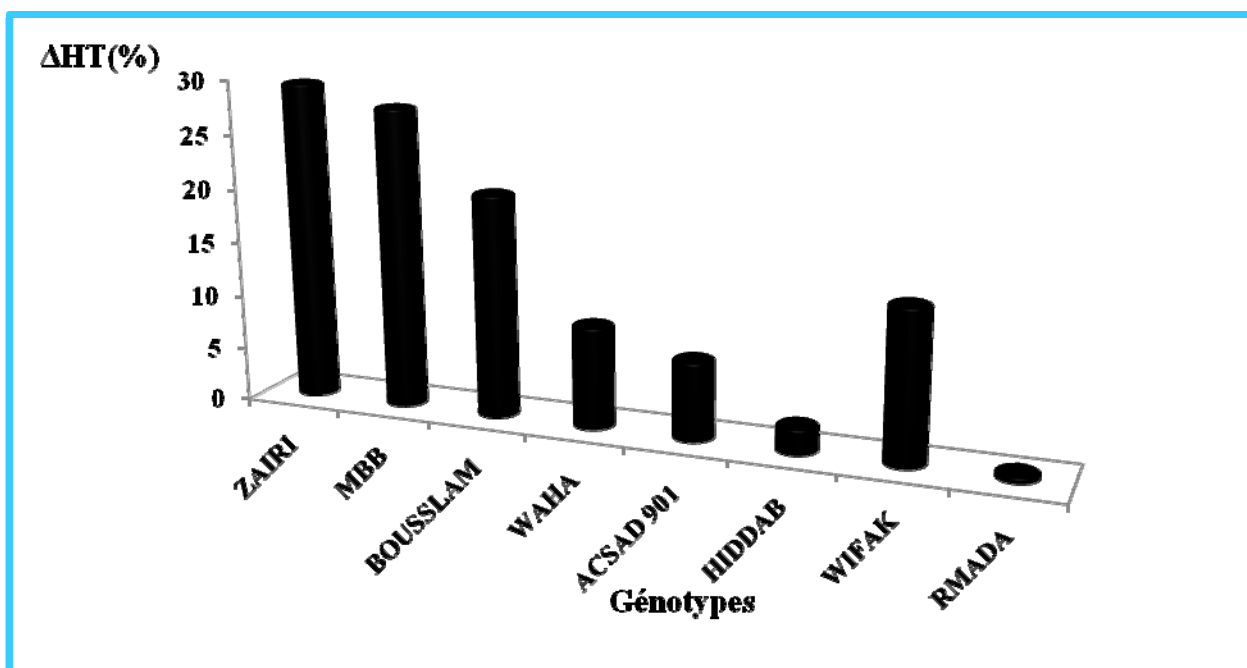


Figure 22. Changement $\{\Delta HT (\%) = 100[1 - (HT_{\text{Épiaison}}/HT_{\text{Maturité}})]\}$ de la hauteur du chaume des variétés étudiées entre les stades épiaison et maturité.

III.8.4 Le poids de la matière sèche totale (g/m²)

A-Blé dur

L'analyse de la variance du poids de la matière sèche totale (g/m²) ne montre aucune différence significative entre les génotypes étudiés pour les dates (151 JAS), (162 JAS), (168 JAS) et (175 JAS). La différence significative entre les génotypes est indiquée pour la date (157 JAS) (Tableau 23).

Tableau 23. Carrés moyens de l'analyse de la variance du poids de la matière sèche totale (g/m²) des génotypes de blé dur.

Source de variation	Ddl	151 JAS	157 JAS	162 JAS	168 JAS	175 JAS
Génotype	3	8455,01 ^{NS}	55957,11 [*]	102631,45 ^{NS}	60560,45 ^{NS}	19374,8 ^{NS}
Résiduelle	8	28278,79	8692,32	62759,36	49139,95	57278,51
CV %	/	24,1	11,17	28,12	19,59	23,99

Ddl : degré de liberté. ^{NS}, ^{*}, ^{**} et ^{***}: effet non significatif, significatif, hautement significatif et très hautement significatif au seuil de 5%, 1% et 0,1% respectivement. CV : coefficient de variation.

L'analyse des moyennes (Tableau 24) du poids de la matière sèche totale (g/m^2) pour la date (157 JAS) révèle deux (02) groupes homogènes :

- ✓ **Groupe 1** : Waha et Zairi.
- ✓ **Groupe 2** : Mbb et Boussalam.

Tableau 24. Comparaison des moyennes du poids la matière sèche totale (g/m^2) des génotypes de blé dur dans la date (157 JAS). Test Fisher (LSD), seuil de 5%.

Génotypes	157 JAS	
	moyennes du poids la matière sèche totale (g/m^2)	Regroupements
ZAIRI	951,48	a
MBB	728,23	b
BOUSSALAM	704,24	b
WAHA	952,48	a
Ppds 5%	175,54	

Les moyennes ayant une lettre en commun ne sont pas différentes significativement au seuil de 5%.

B-Blé tendre

L'analyse de la variance du poids de la matière sèche totale (g/m^2) montre une différence significative entre les génotypes étudiés pour la date (168 JAS) seulement (Tableau 25).

Tableau 25. Carrés moyens de l'analyse de la variance du poids de la matière sèche totale (g/m^2) des génotypes de blé tendre.

Source de variation	Ddl	151 JAS	157 JAS	162 JAS	168 JAS	175 JAS
Génotype	3	167381,51 ^{NS}	311813,31 ^{NS}	68415,88 ^{NS}	94968,73 [*]	189281,83 ^{NS}
Résiduelle	8	64508,601	100793,35	33379,35	17282,67	49966,37
CV %	/	29	31,32	18,7	12,53	18,16

Ddl : degré de liberté. ^{NS}, ^{*}, ^{**} et ^{***} : effet non significatif, significatif, hautement significatif et très hautement significatif au seuil de 5%, 1% et 0,1% respectivement. CV : coefficient de variation.

L'analyse des moyennes (Tableau 26) du poids de la matière sèche totale (g/m^2) pour la date (168 JAS) révèle deux (02) groupes homogènes :

- ✓ **Groupe 1** : Rmada, Wifak et Acsad 901.
- ✓ **Groupe 2** : Hiddab 1220.

Tableau 26. Comparaison des moyennes du poids la matière sèche totale (g/m^2) des géotypes de blé tendre dans la date (168 JAS). Test Fisher (LSD), seuil de 5%.

Géotypes	168 JAS	
	moyennes du poids la matière sèche totale (g/m^2)	Regroupements
ACSAD 901	1071,5	a
HIDDAB 1220	807,1	b
WIFAK	1081	a
RMADA	1235,8	a
Ppds 5%	247,53	

Les moyennes ayant une lettre en commun ne sont pas différentes significativement au seuil de 5%.

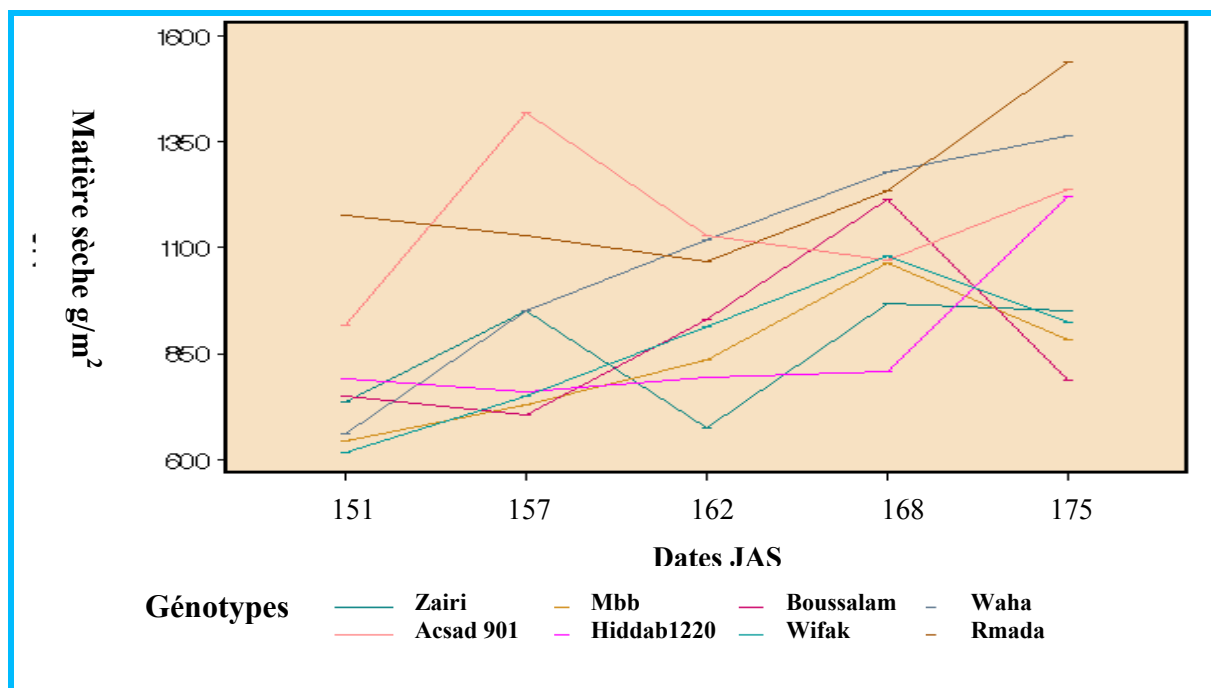


Figure 23. Évolution du poids la matière sèche totale des différents géotypes.

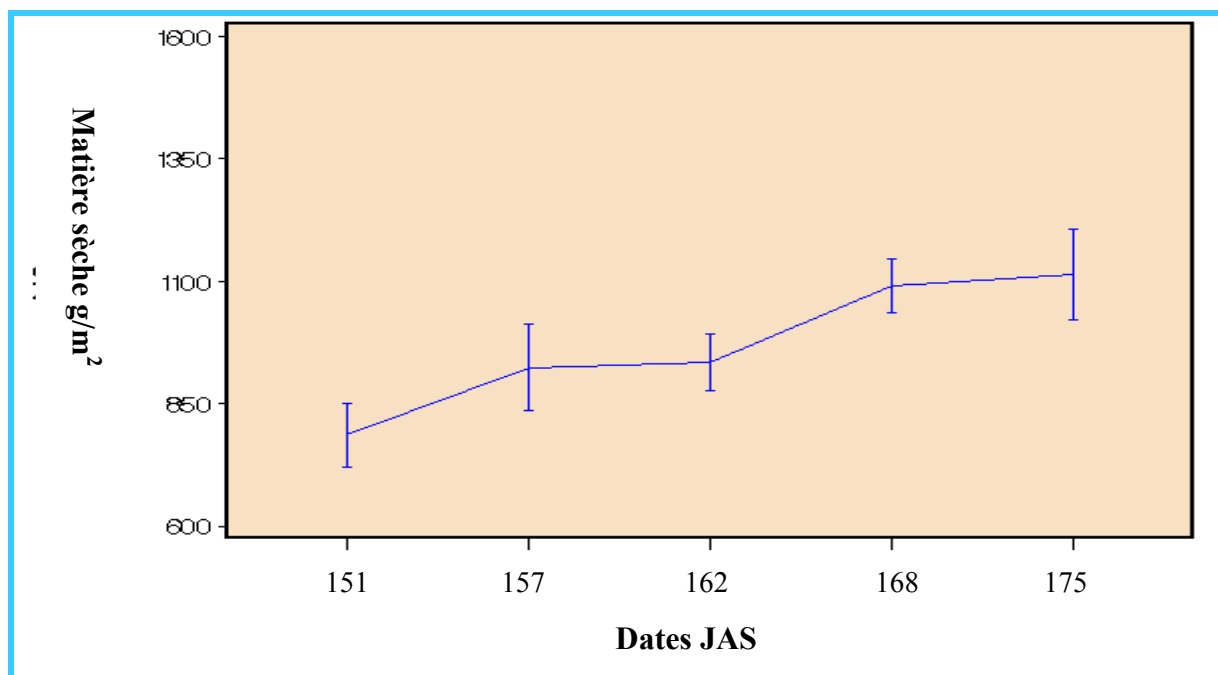


Figure 24. Moyennes du poids la matière sèche totale des différents génotypes.

Entre (151 JAS) et (175 JAS) le comportement des génotypes étudiés est différent (Figure 23). Pour les génotypes de blé dur, certains génotypes perdent le poids de la matière sèche : Zairi entre (157 JAS et 168 JAS), Mbb entre (168 JAS) et (175 JAS), Boussalam entre (151 JAS) et (157 JAS), par contre Waha augmente progressivement leur poids de matière sèche. En (175 JAS) le poids de la matière sèche est amélioré de : 29,19 % chez Zairi, 36,81 % chez Mbb, 5 % chez Boussalam et 106 % chez Waha par rapport au poids de la matière sèche mesuré en (151 JAS). Pour les génotypes de blé tendre, la perte du poids de la matière sèche est observée chez tous les génotypes mais, entre (151 JAS) et (175 JAS) le poids de la matière sèche est augmenté de 35,17 % pour Acsad 901, 54,11 % chez Hiddab 1220, 50 % chez Wifak et 30,68 % chez Rmada.

En climat semi-aride, l'évapotranspiration du sol est une source majeure de perte d'eau (Van Damme, 1990). La présence de résidus de culture à la surface du sol en semis direct joue un rôle primordial de la diminution de l'évaporation du sol, la présence de résidus prolonge la durée de dessèchement de la surface en gardant le sol plus humide pendant une période de temps plus longue. Durant cette expérimentation, l'humidité du sol durant la période de suivi de l'accumulation de la matière sèche diminue dans l'horizon du sol. Qui indique que les génotypes étudiés utilisent l'eau contenue dans le sol pour produire leur biomasse (Figure 24). Donc, leurs sensibilités aux stress de fin de cycle est diminuée. La capacité de produire une biomasse aérienne acceptable à maturité est une caractéristique désirable en zones semi-arides suite à la variabilité du climat. Dans ces zones, le génotype

intéressant est celui qui adopte un rythme de développement qui lui permet de valoriser au mieux les quantités d'eau pluviale reçues.

III.9.Paramètres physiologiques

III.9.1 La teneur relative en eau

A- Blé dur

L'analyse de la variance de la teneur relative en eau (%) ne montre aucune différence significative entre les génotypes étudiés pour les dates (156 JAS), (162 JAS) et (169 JAS). Donc, les différents génotypes appartiennent à la même classe (Tableau 27).

Tableau 27. Carrés moyens de l'analyse de la variance de la teneur relative en eau (%) des génotypes de blé dur.

Source de variation	Ddl	156 JAS	162 JAS	169 JAS
Génotype	3	2,9 ^{NS}	4,99 ^{NS}	12,15 ^{NS}
Résiduelle	8	27,33	77,27	21,08
CV %	/	6,24	11,35	6,3

Ddl : degré de liberté. ^{NS}, *, ** et *** : effet non significatif, significatif, hautement significatif et très hautement significatif au seuil de 5%, 1% et 0,1% respectivement. CV : coefficient de variation.

B- Blé tendre

L'analyse de la variance (Tableau 28) de la teneur relative en eau (%) ne montre aucune différence significative entre les génotypes étudiés pour les dates (156 JAS), (162 JAS) et (169 JAS). Cependant toutes les valeurs sont considérées comme égales, et par conséquent tous les génotypes se trouvent dans un même groupe.

Tableau 28. Carrés moyens de l'analyse de la variance de la teneur relative en eau (%) des génotypes de blé tendre.

Source de variation	Ddl	156 JAS	162 JAS	169 JAS
Génotype	3	28,51 ^{NS}	57,34 ^{NS}	24,01 ^{NS}
Résiduelle	8	49,1	32,6	29
CV %	/	8,72	8,04	7,98

Ddl : degré de liberté. ^{NS}, *, ** et *** : effet non significatif, significatif, hautement significatif et très hautement significatif au seuil de 5%, 1% et 0,1% respectivement. CV : coefficient de variation.

Le suivi de l'évolution de la teneur relative en eau de tous les génotypes (blé dur et blé tendre) (Figure 25) entre 156 JAS et 169 JAS nous renseigne que la teneur relative en eau baisse au fur et à mesure que le cycle de la culture tire vers sa fin sauf pour le génotype Rmada qui a augmenté sa teneur relative en eau entre (162 JAS) et (169 JAS). Durant la période de mesure de la teneur relative en eau, on a enregistré une diminution de l'humidité pondérale du sol. d'après Bajji *et al.*, (2001), la teneur en eau des feuilles de blé diminue proportionnellement avec la réduction d'eau contenue dans le sol ainsi, Selon (Slafer et Andrade, 1990), la diminution de la teneur relative en eau est due à la fermeture des stomates à cause de l'élévation de la température. Scofield *et al.*, (1988) notent que la diminution de la teneur relative en eau est plus rapide chez les variétés sensibles que chez les variétés résistantes. Cette dernière est considérée comme une contrainte à l'augmentation des rendements en zones semi-arides. Donc, les variétés de blé qui ont une teneur relative en eau importante sont plus tolérantes à la sécheresse.

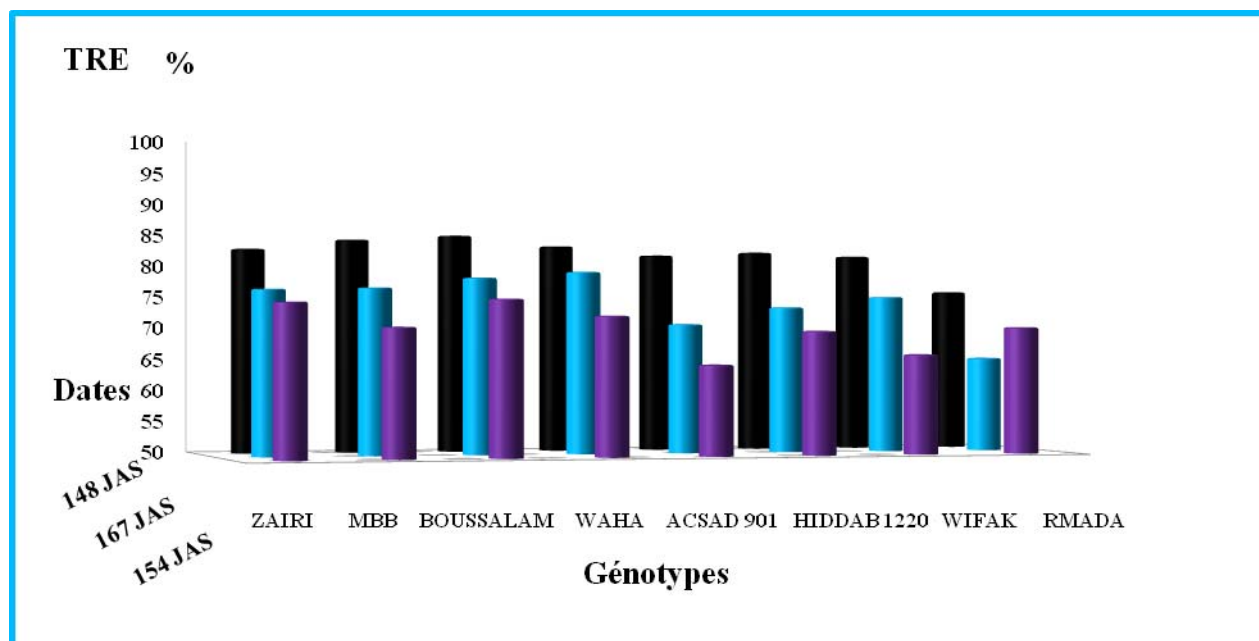


Figure 25. Évolution de la teneur en eau TRE (%) des feuilles des différents génotypes étudiés.

III.9.2 Taux de déperdition d'eau

A- Blé dur

L'analyse de la variance du taux de déperdition d'eau ne montre aucune différence significative entre les génotypes étudiés pour les dates (162 JAS) et (169 JAS) (Tableau 29).

Tableau 29. Carrés moyens de l'analyse de la variance du taux de déperdition d'eau des génotypes de blé dur.

Source de variation	Ddl	162 JAS	169 JAS
Génotype	3	0,0002 ^{NS}	0,005 ^{NS}
Résiduelle	8	0,0002	0,003
CV %	/	- 62,79	- 125,94

Ddl : degré de liberté. ^{NS}, *, ** et *** : effet non significatif, significatif, hautement significatif et très hautement significatif au seuil de 5%, 1% et 0,1% respectivement. CV : coefficient de variation.

B- Blé tendre

L'analyse de la variance du taux de déperdition d'eau ne montre aucune différence significative entre les génotypes étudiés pour les dates (162 JAS) et (169 JAS) (Tableau 30). Cependant, tous les génotypes se trouvent dans un même groupe.

Tableau 30. Carrés moyens de l'analyse de la variance du taux de déperdition d'eau des génotypes de blé tendre.

Source de variation	Ddl	162 JAS	169 JAS
Génotype	3	0,00009 ^{NS}	0,0004 ^{NS}
Résiduelle	8	0,00003	0,0003
CV %	/	- 28,69	- 56,42

Ddl : degré de liberté. ^{NS}, *, ** et *** : effet non significatif, significatif, hautement significatif et très hautement significatif au seuil de 5%, 1% et 0,1% respectivement. CV : coefficient de variation.

Ces résultats ont été expliqués par la ressemblance du taux de déperdition de l'eau chez toutes les variétés. Plusieurs chercheurs ont montré que les feuilles qui proviennent de plantes stressées perdent plus d'eau que les plantes non stressées (Clark et Mac-Caig, 1982), (Kirkham *et al.*, 1980) relient directement la perte d'eau à la surface foliaire, plus la surface est large, plus le taux de déperdition augmente. Certaines variétés ont la particularité de l'enroulement des feuilles lors d'un déficit hydrique. Cet enroulement lui permet la diminution des pertes d'eau par transpiration cuticulaire (El-Jaafari, 1995 *in* Zeghida *et al.*, 2004).

III.10 L'efficacité d'utilisation de l'eau

La notion de l'efficacité d'utilisation de l'eau est abordée dans la littérature sous plusieurs modèles, elle est variable dans le temps et dans l'espace et dépend des types de culture, des conditions édaphiques et les pratiques culturales incluant la fertilisation et les conditions climatiques (Hatfield *et al.*, 2001). Selon (Turner, 1997), l'efficacité d'utilisation de l'eau est exprimée par le rapport entre le rendement grain ou la biomasse totale et l'évapotranspiration.

A-Blé dur

L'analyse de la variance de l'EUE_{grain} et l'EUE_{biomasse} montre une différence significative entre les génotypes étudiés (Tableau 31).

Tableau 31. Carrés moyens de l'analyse de l'EUE_{grain} et l'EUE_{biomasse} des génotypes de blé dur.

Source de variation	ddl	l'EUE _{grain}	l'EUE _{biomasse}
Génotype	3	0,08 *	0,31 *
Résiduelle	8	0,01	0,06
CV%	/	14,34	12,99

Ddl : degré de liberté. ^{NS}, *, ** et *** : effet non significatif, significatif, hautement significatif et très hautement significatif au seuil de 5%, 1% et 0,1% respectivement. CV : coefficient de variation.

Le génotype Waha se distingue par les valeurs moyennes de l'EUE_{grain} et l'EUE_{biomasse} les plus élevées avec 1,10 et 2,18 g/m²/mm respectivement, il est suivi par Mbb qui détient les valeurs suivantes 0,95 et 2,15 g/m²/mm pour l'EUE_{grain} et l'EUE_{biomasse} respectivement, les génotypes Zairi et Boussalam prennent 0,75, 0,74 g/m²/mm pour l'EUE_{grain} et 1,44, 1,72 g/m²/mm pour l'EUE_{biomasse} respectivement (Tableau 32, figure 26).

Tableau 32. Comparaison des moyennes de l'EUE_{grain} et l'EUE_{biomasse} des génotypes de blé dur. Test Fisher (LSD), seuil de 5%.

Génotypes	Moyenne de l'EUE _{grain} (g/m ² /mm)	Regroupement s	Moyenne de l'EUE _{biomasse} (g/m ² /mm)	Regroupements
ZAIRI	0,74	b	1,52	b
MBB	0,94	ab	2,15	a
BOUSSALAM	0,75	b	1,72	ab
WAHA	1,10	a	2,18	a
Ppds 5%	0,23		0,46	

Les moyennes ayant une lettre en commun ne sont pas différentes significativement au seuil de 5%.

B- Blé tendre

L'analyse de la variance de l'EUE_{grain} montre une différence hautement significative entre les génotypes étudiés. Tandis que cette différence est très hautement significative entre les génotypes étudiés pour l'EUE_{biomasse} (Tableau 33).

Tableau 33. Carrés moyens de l'analyse de l'EUE_{grain} et l'EUE_{biomasse} des génotypes de blé tendre.

Source de variation	ddl	l'EUE _{grain}	l'EUE _{biomasse}
Génotype	3	0,38 **	1,65 ***
Résiduelle	8	0,03	0,09
CV%	/	18,26	15,43

Ddl : degré de liberté. ^{NS}, *, ** et *** : effet non significatif, significatif, hautement significatif et très hautement significatif au seuil de 5%, 1% et 0,1% respectivement. CV : coefficient de variation.

Le génotype Rmada se classe au premier rang pour l'EUE_{grain} et l'EUE_{biomasse} avec 1,48 et 2,89 g/m²/mm respectivement, au deuxième rang le génotype Acsad 901, il est suivi par Wifak, le génotype Hiddab 1220 prend les valeurs moyennes les plus basses pour l'EUE_{grain} et l'EUE_{biomasse} (Tableau 34, figure 26).

Tableau 34. Comparaison des moyennes de l'EUE_{grain} et l'EUE_{biomasse} des génotypes de blé tendre. Test Fisher (LSD), seuil de 5%.

Génotypes	Moyenne de l'EUE _{grain} (g/m ² /mm)	Regroupements	Moyenne de l'EUE _{biomasse} (g/m ² /mm)	Regroupements
ACSAD 901	1,19	ab	2,39	a
HIDDAB 1220	0,64	c	1,20	b
WIFAK	0,93	bc	1,70	b
RMADA	1,48	a	2,89	a
Ppds 5%	0,3659		0,5953	

Les moyennes ayant une lettre en commun ne sont pas différentes significativement au seuil de 5%.

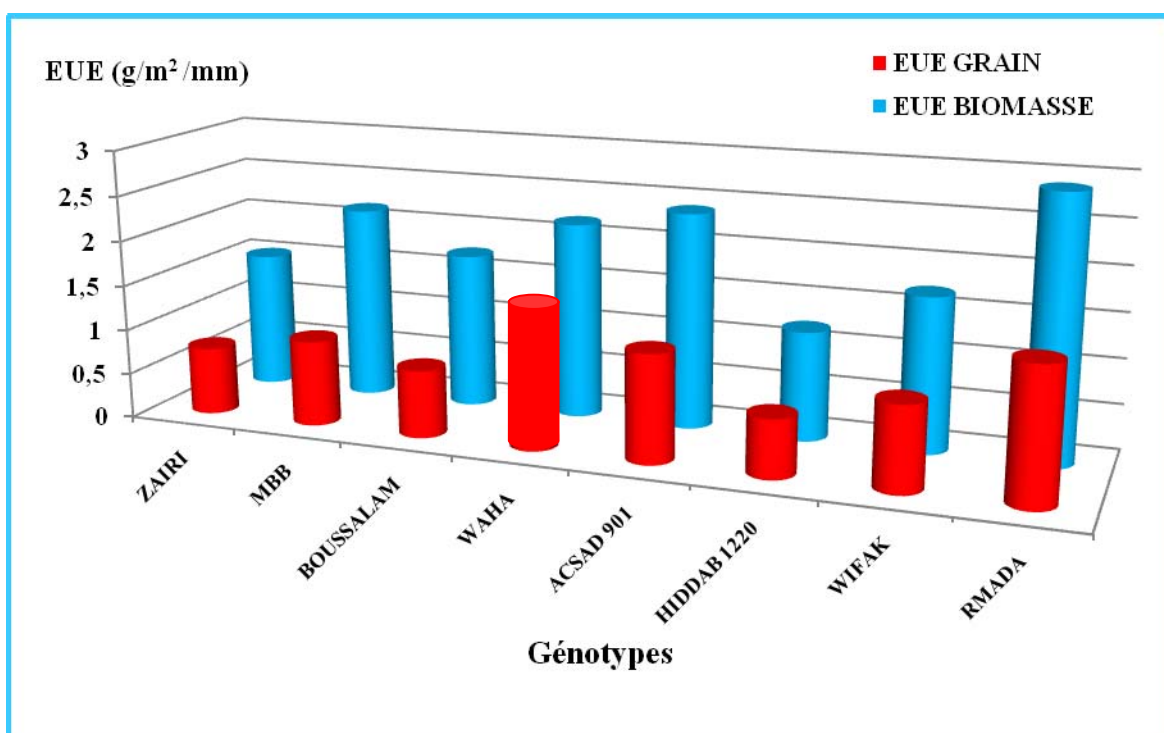


Figure 26. L'EUE_{grain} et l'EUE_{biomasse} des différents génotypes étudiés.

III.11 Étude du comportement du système racinaire

III.11.1 La profondeur d'enracinement

A-Blé dur

L'étude du système racinaire montre que la profondeur d'enracinement varie d'un génotype à l'autre, elle est comprise entre 46 cm et 52 cm. le système d'enracinement le plus long correspondant au génotype Zairi, les génotypes Boussalam et Waha possèdent les valeurs les plus courtes de la profondeur d'enracinement, Mbb avec une profondeur de 48 cm (Figure 27).

B- Blé tendre

Le génotype Hiddab 1220 se distingue par la profondeur de système racinaire la plus longue avec 50 cm, il est suivi par Acsad 901 (46 cm), Rmada (44 cm), Wifak présente la profondeur la plus courte (38 cm) (Figure 27).

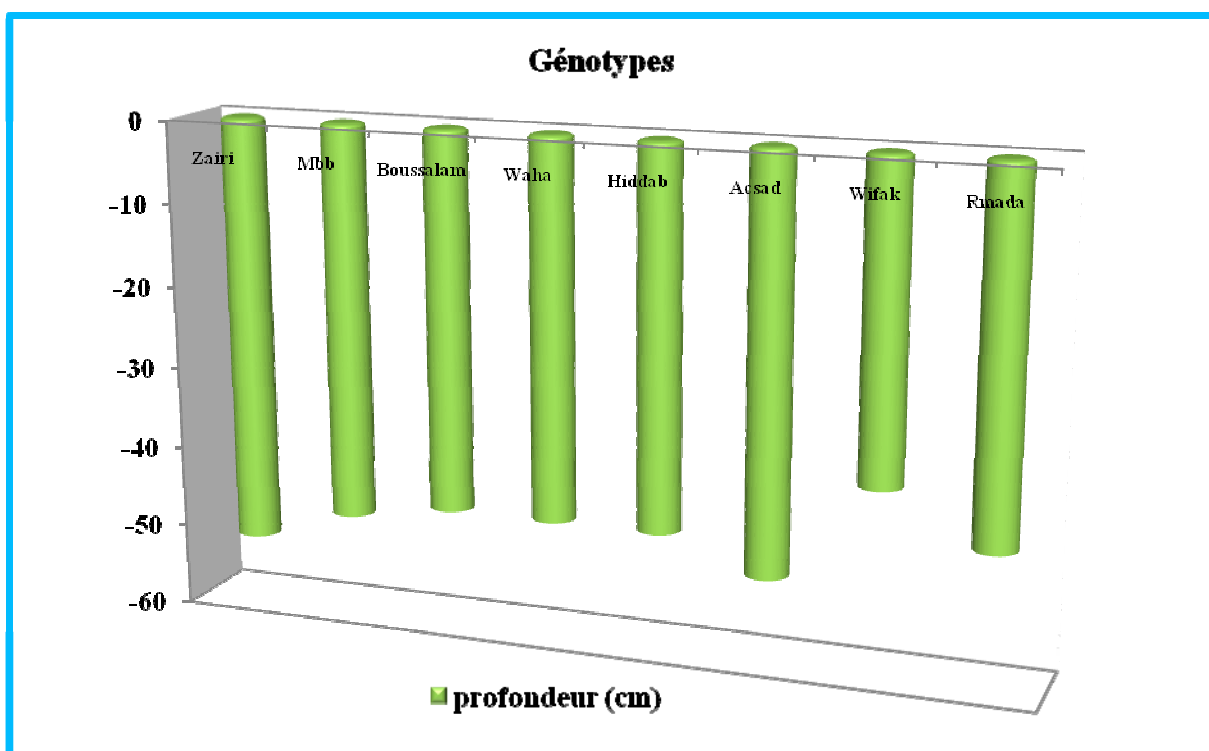


Figure 27. Profondeur maximale du système racinaire des différents génotypes étudiés.

III.11.2 La fréquence de contact racinaire

A partir de l'examen du profil cultural on a distingué deux horizons dont les épaisseurs sont 36 et 20 cm successivement. On a calculé la moyenne de la fréquence de contact racinaire pour chaque horizon :

A-Blé dur

Au niveau du premier horizon, le géotype Waha a la fréquence racinaire la plus élevée (65,45 %) suivi par Mbb et Zairi avec 51,8 et 49,56 %, en fin le géotype Boussalam. Au niveau du deuxième horizon, le géotype Zairi a une fréquence de contact racinaire supérieure aux celles des autres géotypes avec lesquels il est comparé (32,06 %) (Figure 28).

B- Blé tendre

Au niveau du premier horizon, Hiddab 1220 se classe le premier avec une fréquence de 51,8% et le géotype Wifak au dernier rang avec une valeur de 39,85 %. Au niveau du deuxième horizon, le géotype Wifak se classe le dernier avec une fréquence égale 0,27 %. Le reste des géotypes ont une valeur comprise entre 27,44 % et 4,61 %. (Figure 28)

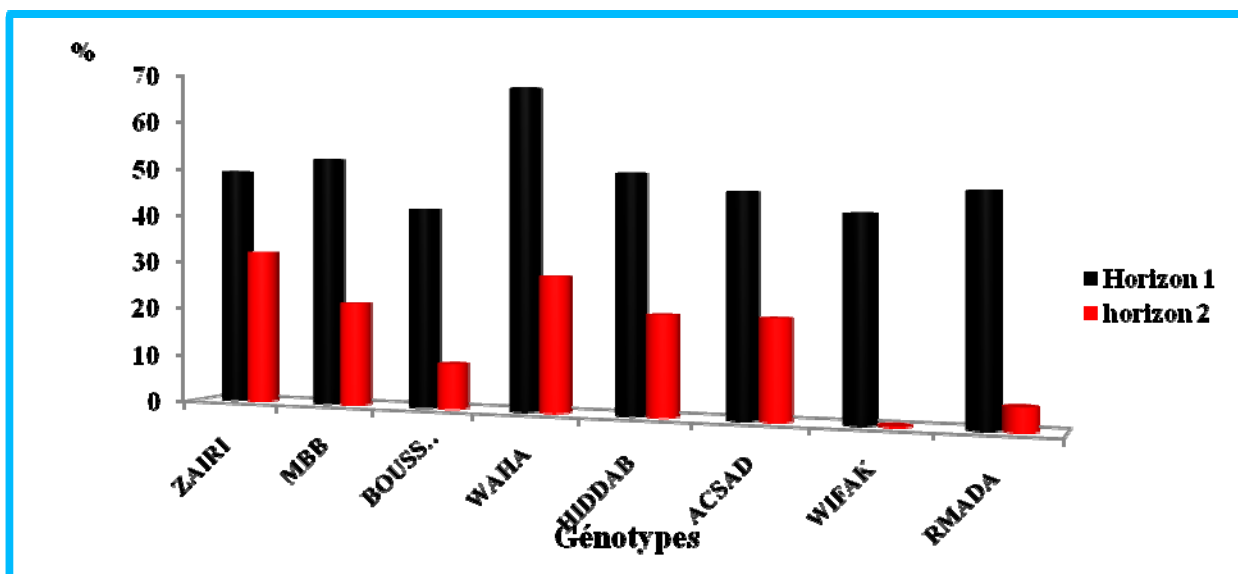


Figure 28. La fréquence du contact racinaire (%) des différents géotypes au niveau les deux horizons du profil cultural.

En semis direct, il n'y a aucune perturbation du sol (modification des propriétés du sol), donc, la mise en œuvre de cette pratique culturale nécessite plus particulièrement des connaissances sur le développement des systèmes racinaires, à partir de l'étude de système racinaire des huit 08 variétés il apparait que :

- ✓ La majorité de la masse racinaire est généralement localisée dans le premier horizon (0-36 cm) où la teneur en matière organique et l'humidité du sol sont élevées.
- ✓ Bonne exploitation de tout l'horizon du sol (profondeur d'enracinement entre 38 à 52 cm).

Chakraborty *et al.*, (2010), ont remarqué dans une étude sur l'effet du mulch sur la production de blé sous conditions semi-arides que les mulch organiques ont fourni un meilleur statut de l'eau du sol et une amélioration en terme de biomasse de croissance des racines.

III.12 Le rendement et ses composantes

A-Blé dur

L'analyse de la variance du rendement et ses composantes indique une différence significative entre les génotypes étudiés pour l'ensemble des variables mesurés sauf le rendement en paille (PLL) et l'indice de récolte (HI) (Tableau 35).

Tableau 35. Carrés moyens de l'analyse de la variance du rendement et ses composantes des génotypes de blé dur.

Source de variation	ddl	NE	PMG	NGE	NGM ²
Génotype	3	52122,46 _{***}	4,3 ^{***}	72,06 [*]	13954022,45 [*]
Résiduelle	8	227,79	0,056	13,5	1888144,82
CV %	/	4,08	0,62	12,6	13,21
Source de variation	ddl	RDT	RDT éco	HI	PLL
Génotype	3	17997,2 [*]	62958 [*]	49,88 _{NS}	20000 ^{NS}
Résiduelle	8	3220,85	12171,38	28,4	6213,96
CV %	/	14,31	13,04	11,33	17,55

Ddl : degré de liberté, NE : Le nombre d'épi/m², PMG : le poids de 1000 grains, NGE : Le nombre de grains / épi, NGM² : Le nombre de grains au m², RDT : le rendement en grain, PLL : Le rendement en paille, RDT éco : Le rendement économique, HI : l'indice de récolte. ^{NS}, ^{*}, ^{**} et ^{***} : effet non significatif, significatif, hautement significatif et très hautement significatif au seuil de 5%, 1% et 0,1% respectivement. CV : coefficient de variation.

L'analyse des moyennes du nombre d'épi/m² (NE) des différents génotypes révèle trois groupes homogènes :

- ✓ **Groupe 1** : Waha.
- ✓ **Groupe 2** : Mbb et Zairi.
- ✓ **Groupe 3** : Boussalam. (Annexe 04)

Le test de Fisher au seuil de 5% des moyennes du poids de 1000 grains (PMG) (g) fait ressortir trois groupes :

- ✓ **Groupe 1** : Boussalam.
- ✓ **Groupe 2** : Zairi et Waha.
- ✓ **Groupe 3** : Mbb. (Annexe 04)

Les valeurs moyennes du nombre de grains / épi (NGE) classe les différents génotypes étudiés trois groupes :

- ✓ **Groupe 1** : Mbb et Boussalam.
- ✓ **Groupe 2** : Zairi.
- ✓ **Groupe 3** : Waha. (Annexe 04)

Le test de Fisher au seuil de 5% des moyennes du nombre de grains au m² (NGM²) dégage quatre groupes :

- ✓ **Groupe 1** : Waha.
- ✓ **Groupe 2** : Mbb.
- ✓ **Groupe 3** : Zairi.
- ✓ **Groupe 4** : Boussalam. (Annexe 04)

Trois groupes homogènes sont affichés lors de l'analyse des moyennes du rendement en grain (RDT) (g /m²) des différents génotypes :

- ✓ **Groupe 1** : Waha.
- ✓ **Groupe 2** : Mbb.
- ✓ **Groupe 3** : Zairi et Boussalam. (Annexe 04)

Le test de Fisher au seuil de 5% des moyennes du rendement économique (RDT éco) (g /m²) classe les génotypes en :

- ✓ **Groupe 1** : Waha et Mbb.
- ✓ **Groupe 2** : Boussalam.
- ✓ **Groupe 3** : Zairi. (Annexe 04)

Le rendement en grain est corrélé (corrélation très hautement significative) avec :

- ✓ NGM²: Le nombre de grains au m² (r = 0.99).

- ✓ RDT éco : Le rendement économique ($r = 0.85$).
- ✓ NE : Le nombre d'épi/m² ($r = 0.77$) (Tableau 36).

Tableau 36. Coefficients de corrélation entre le rendement en grain et ses composantes des génotypes de blé dur.

	NE	PMG	NGE	NGM ²	RDT	PLL	RDT éco	HI
NE	1.000							
PMG	-0.19 0.54	1.00						
NGE	-0.63 0.02	-0.14 0.64	1.00					
NGM²	0.78 0.002	-0.44 0.14	-0.03 0.91	1.00				
RDT	0.77 0.003	-0.36 0.24	-0.02 0.94	0.99 <.0001	1.00			
PLL	0.25 0.42	-0.45 0.13	0.22 0.48	0.53 0.07	0.51 0.08	1.00		
RDT éco	0.56 0.053	-0.47 0.11	0.12 0.69	0.85 0.0004	0.84 0.0005	0.89 <.0001	1.00	
HI	0.42 0.16	0.06 0.83	-0.19 0.54	0.38 0.21	0.4 0.18	-0.55 0.058	-0.13 0.68	1.00

Coefficient de corrélation au dessus
Probabilité au dessous

B-Blé tendre

L'analyse de la variance du rendement et ses composantes indique une différence significative entre les génotypes étudiés pour l'ensemble des variables mesurés sauf le nombre de grains / épi (NGE) et l'indice de récolte (HI) (Tableau 37).

Tableau 37. Carrés moyens de l'analyse de la variance du rendement et ses composantes des génotypes de blé tendre.

Source de variation	Ddl	NE	PMG	NGE	NGM ²
Génotype	3	17380,52 ***	37,1 ***	106,24 NS	34052412, 1 **
Résiduelle	8	1012,22	0,1183	32,42	4161985,3
CV %	/	9,58	0,99	14	15,23
Source de variation	Ddl	RDT	RDT éco	HI	PLL
Génotype	3	70921,85 **	329365,25 ***	22,48 NS	59811,91***
Résiduelle	8	5922,43	19630,46	6,19	4607,91
CV %	/	16,3	15,31	4,76	15,33

Ddl : degré de liberté, NE : Le nombre d'épi/m², PMG : le poids de 1000 grains, NGE : Le nombre de grains / épi, NGM² : Le nombre de grains au m², RDT : le rendement en grain, PLL : Le rendement en paille, RDT éco : Le rendement économique, HI : l'indice de récolte. ^{NS}, *, **, et *** : effet non significatif, significatif, hautement significatif et très hautement significatif au seuil de 5%, 1% et 0,1% respectivement. CV : coefficient de variation.

L'analyse des moyennes du nombre d'épi/m² (NE) des différents génotypes révèle quatre groupes homogènes :

- ✓ **Groupe 1** : Acsad 901.
- ✓ **Groupe 2** : Rmada.
- ✓ **Groupe 3** : Wifak.
- ✓ **Groupe 4** : Hiddab 1220. (Annexe 04)

Le test de Fisher au seuil de 5% des moyennes du poids de 1000 grains (PMG) (g) fait ressortir trois groupes :

- ✓ **Groupe 1** : Rmada.
- ✓ **Groupe 2** : Wifak et Acsad 901.
- ✓ **Groupe 3** : Hiddab 1220. (Annexe 04)

Le test de Fisher au seuil de 5% des moyennes du nombre de grains au m² (NGM²)
dégage quatre groupes :

- ✓ **Groupe 1** : Rmada.
- ✓ **Groupe 2** : Acsad 901.
- ✓ **Groupe 3** : Wifak.
- ✓ **Groupe 4** : Hiddab 1220. (Annexe 04)

Quatre groupes homogènes sont apparus à partir l'analyse des moyennes du rendement en grain (RDT) (g /m²) des différents génotypes :

- ✓ **Groupe 1** : Rmada.
- ✓ **Groupe 2** : Acsad 901.
- ✓ **Groupe 3** : Wifak
- ✓ **Groupe 4** : Hiddab 1220. (Annexe 04)

Le test de Fisher au seuil de 5% des moyennes du rendement en paille (PLL) classe les génotypes en :

- ✓ **Groupe 1** : Rmada et Acsad 901.
- ✓ **Groupe 2** : Wifak et Hiddab 1220. (Annexe 04)

Le test de Fisher au seuil de 5% des moyennes du rendement économique (RDT éco) (g /m²) classe les génotypes en :

- ✓ **Groupe 1** : Rmada et Acsad 901.
- ✓ **Groupe 2** : Wifak et Hiddab 1220. (Annexe 04)

Le rendement en grain est corrélé (corrélation très hautement significative) avec :

- ✓ RDT éco : Le rendement économique (r = 0.99).
- ✓ NGM² : Le nombre de grains au m² (r = 0.98).
- ✓ PLL : Le rendement en paille (r = 0.96).
- ✓ PMG : Le poids de 1000 grains (r = 0.79).
- ✓ NE : Le nombre d'épi/m² (r = 0.67) (Tableau 38).

Tableau 38. Coefficients de corrélation entre le rendement en grain et ses composantes des génotypes de blé tendre.

	NE	PMG	NGE	NGM ²	RDT	PLL	RDT éco	HI
NE	1.000							
PMG	0.55 0.059	1.00						
NGE	-0.22 0.48	0.28 0.37	1.00					
NGM²	0.69 0.012	0.69 0.012	0.54 0.06	1.00				
RDT	0.67 0.015	0.79 0.002	0.54 0.06	0.98 <.0001	1.00			
PLL	0.71 0.008	0.74 0.005	0.47 0.11	0.95 <.0001	0.96 <.0001	1.00		
RDT éco	0.70 0.01	0.77 0.0032	0.51 0.08	0.98 <.0001	0.99 <.0001	0.99 <.0001	1.00	
HI	-0.47 0.11	-0.26 0.39	-0.11 0.72	-0.44 0.14	-0.43 0.15	-0.64 0.022	-0.55 0.0624	1.00

Coefficient de corrélation au dessus
Probabilité au dessous

III.13 Typologie variétale

L'étude des relations possibles entre les variables mesurées au cours du cycle permet de grouper les génotypes étudiés selon leurs comportements dans le contexte de non-labour. Cette étude est abordée en utilisant l'analyse en composantes principales (ACP).

A-Blé dur

Les corrélations des valeurs des variables mesurées avec les premiers axes principaux de l'analyse en composantes principales sont représentées dans la figure 29. Les deux premiers axes (axe 01 et axe 02) de l'ACP expliquent 42,1 et 35,4 % respectivement, soit 77,5 % de la variation totale, le plan formé par ces deux axes constitue une bonne base d'interprétation de la typologie des génotypes évalués et des relations entre les différentes variables mesurées.

Le long de l'axe 01 s'opposent les variables suivantes : la hauteur à l'épiaison, EUE_{Grain} , EUE_{Biomasse} , le nombre d'épi/m², le nombre de grain/m², le rendement en grain, le rendement en paille et le rendement économique, dans le coté positif de l'axe 01, se trouve le poids de 1000 grains et la surface foliaire, donc l'axe 01 pourrait être défini comme un axe de rendement (productivité). Le long de l'axe 02 et de son coté positif, on trouve : le poids spécifique foliaire, la date d'épiaison, la longueur du cycle et la hauteur à la maturité, donc l'axe 02 pourrait être défini comme un axe de phéno-morphologie.

La représentation graphique des génotypes dans le plan 1-2 (Figure 30) permet de distinguer que :

Le génotype Waha se distingue par des valeurs élevées pour les variables suivantes : la hauteur à l'épiaison, EUE_{Grain} , EUE_{Biomasse} , le taux de fertilité, le nombre d'épi/m², le nombre de grain/m², le rendement en grain, le rendement en paille et le rendement économique. Tandis que ce génotype se caractérise aussi par un faible poids de 1000 grains. À l'opposé, soit du coté positif de l'axe 01, se trouvent le génotype Boussalam qui est moins performant pour les variables précédentes, ce génotype se distingue par un cycle plus court, une surface foliaire plus élevée et un poids de 1000 grains le plus élevé. Mbb se caractérise par une date tardive à l'épiaison, un cycle plus long, une hauteur plus haute à la maturité, un poids spécifique foliaire élevé. Zairi se distingue par un poids spécifique foliaire très élevé permettant la consistance de l'appareil photosynthétique, il se caractérise aussi par la surface foliaire la plus faible pour minimiser la surface évaporant et celle soumise à la radiation solaire.

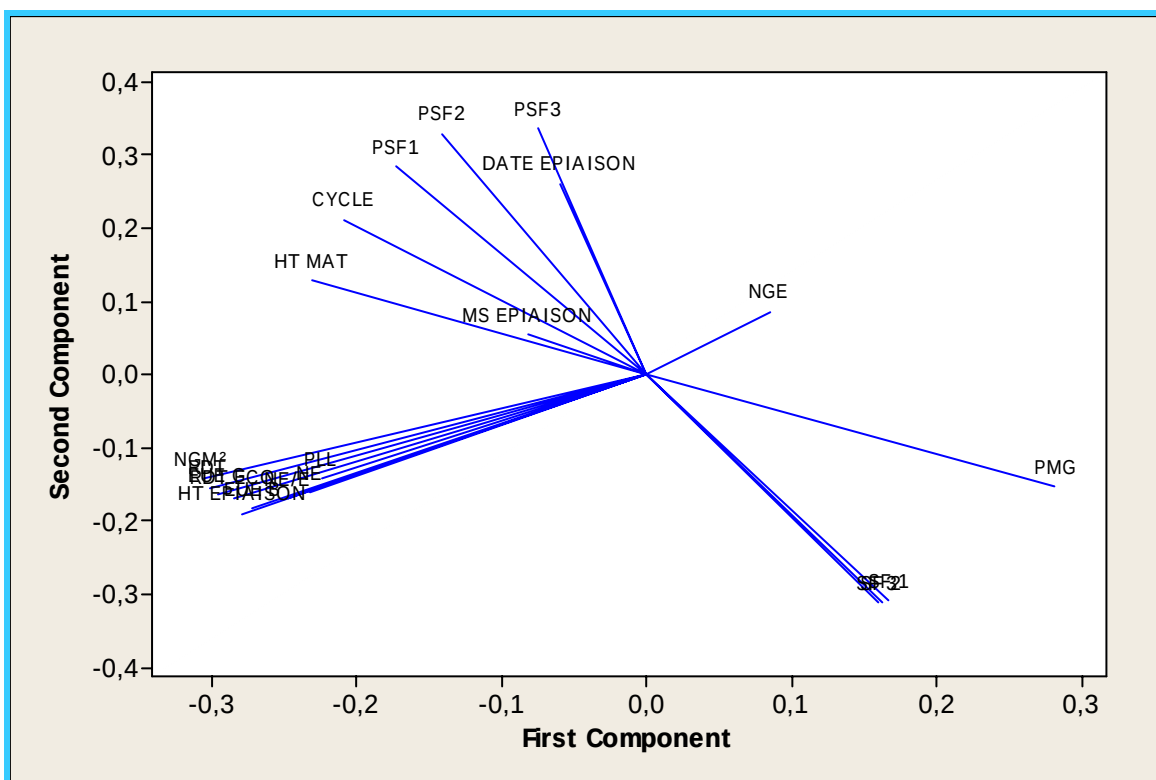


Figure 29. Représentation des variables mesurées sur le plan des axes 1 et 2 de l'ACP (Blé dur).

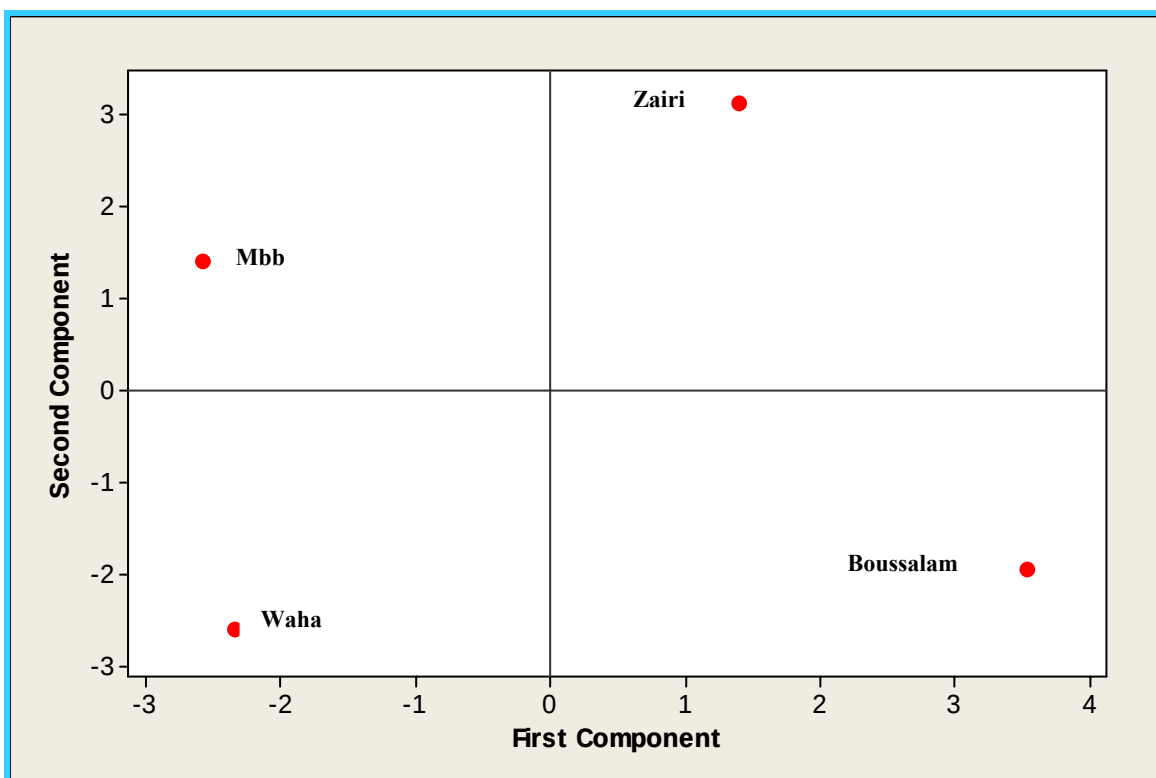


Figure 30. Représentation des génotypes de blé dur étudiés sur le plan des axes 1 et 2 de l'ACP.

B-Blé tendre

Les corrélations des valeurs des variables mesurées avec les premiers axes principaux de l'ACP sont représentées dans la figure 31. Les deux premiers axes (axe 01 et axe 02) de l'ACP expliquent 70,1 et 19,8 % respectivement, soit 89,9 % de la variation totale. L'axe 01 s'opposent les variables suivantes : le poids spécifique foliaire et la surface foliaire, EUE_{Grain}, EUE_{Biomasse}, le nombre de grain/m², le rendement en grain, le rendement en paille et le rendement économique, du côté positif de l'axe 01 se trouve la hauteur à la maturité. Le long de l'axe 02 et de son côté positif, on trouve : la longueur du cycle, la date d'épiaison, le poids de 1000 grains

La représentation graphique des génotypes dans le plan 1-2 (Figure 32) permet de distinguer que : Rmada se caractérise par des valeurs élevées pour les variables suivantes : la surface foliaire, le poids spécifique foliaire, EUE_{Grain}, EUE_{Biomasse}, le poids de 1000 grains, le nombre de grain au m², le rendement en grain, le rendement en paille et le rendement économique. Il est caractérisé par une hauteur faible à la maturité. À l'opposé, le génotype Hiddab 1220 qui se discrimine par une hauteur haute à la maturité, une précocité à l'épiaison et la maturité physiologique. Ce génotype se distingue par les valeurs moyennes les plus faibles pour l'ensemble de reste des variables étudiés. Acsad 901 se différencie par un nombre d'épi au m² très élevé, une l'épiaison et une maturité relativement tardives. Le génotype Wifak est tardif à l'épiaison et à la maturité, hauteur courte à la maturité et des valeurs moyennes faibles pour l'EUE_{Grain}, l'EUE_{Biomasse}, le nombre d'épi au m², le nombre de grain au m², le rendement en grain, le rendement en paille et le rendement économique.

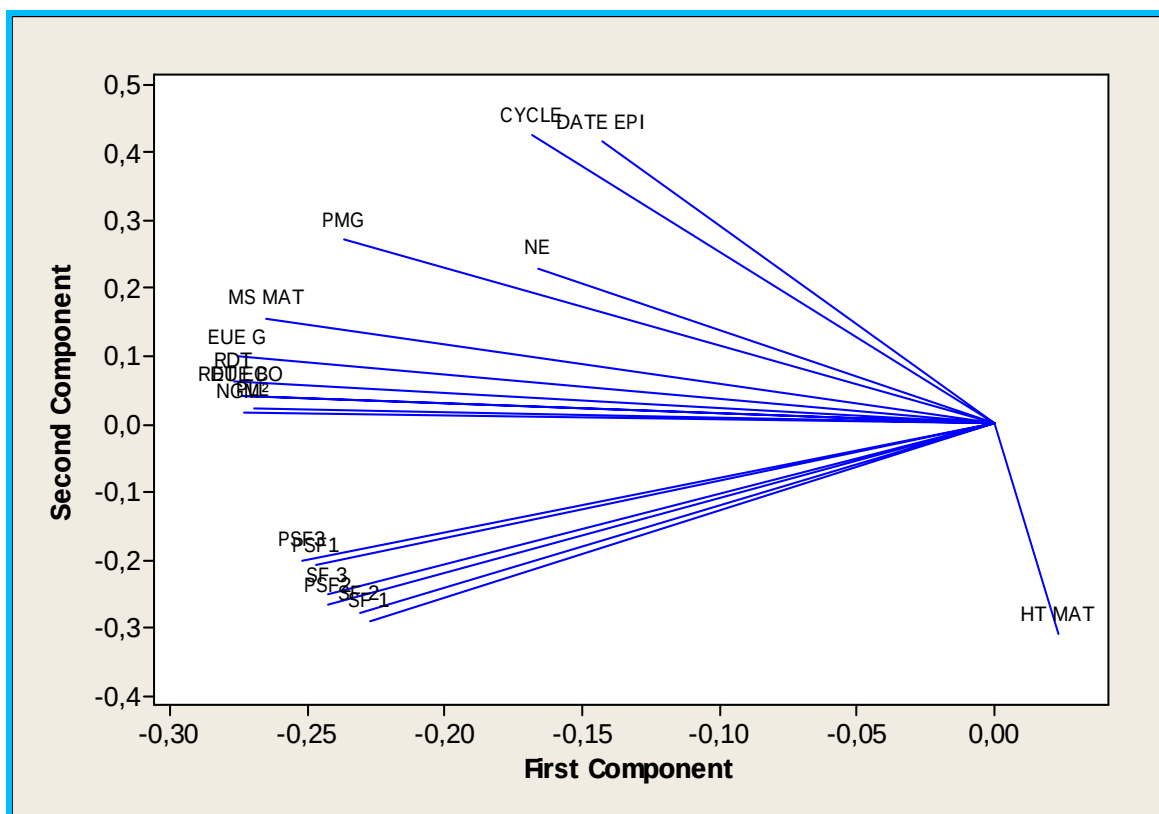


Figure 31. Représentation des variables mesurées sur le plan des axes 1 et 2 de l'ACP (Blé tendre).

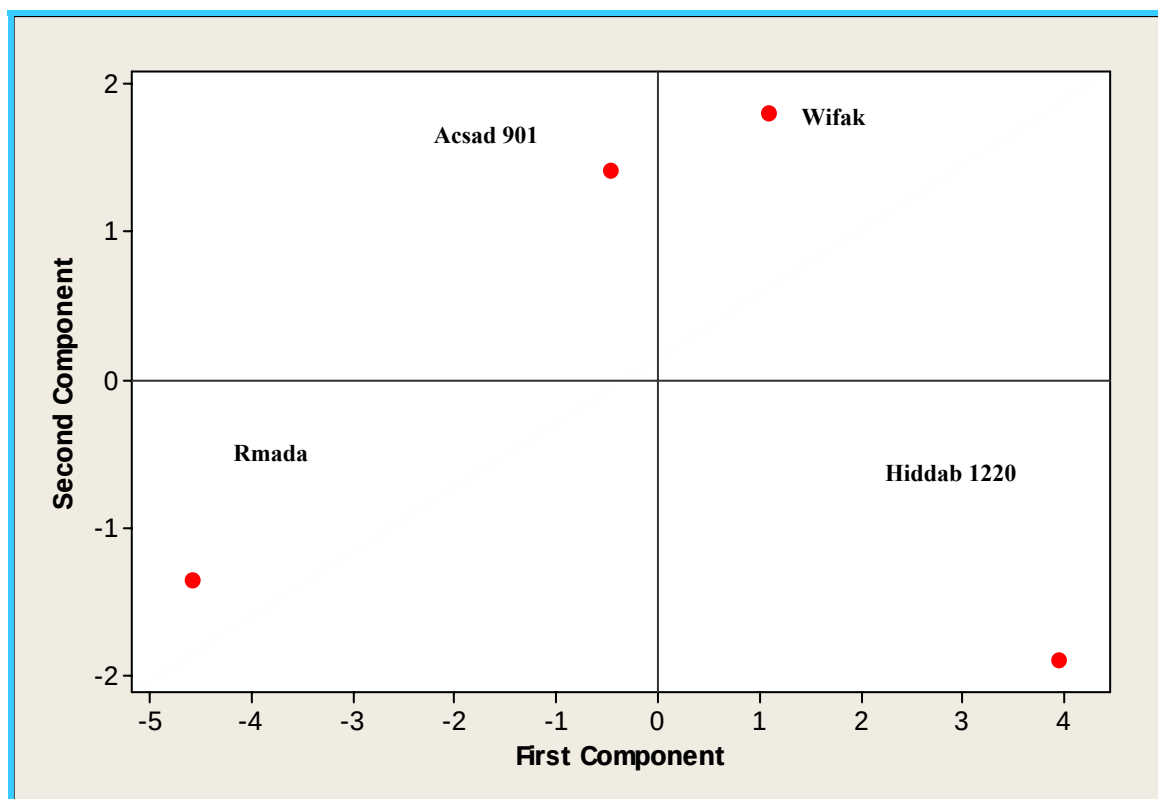


Figure 32. Représentation des génotypes de blé tendre étudiés sur le plan des axes 1 et 2 de l'analyse en composantes principales.

Conclusion

Conclusion

- L'étage bioclimatique semi-aride se caractérise par de larges fluctuations spatio-temporelles des quantités de pluies reçues qui nous incitent à chercher de nouvelles alternatives permettant l'utilisation efficiente de l'eau pluviale, d'où l'intérêt de déterminer les techniques culturales appropriées pour la conservation de l'eau du sol (khaldoune *et al.*, 1997), à travers la première partie de notre étude et afin d'évaluer la nouvelle technique de semis direct dans la région semi-aride (cas des hautes plaines sétifiennes) comme une innovation technologique permettant la conservation de l'eau du sol, on a essayé d'étudier un ensemble de paramètres édaphiques qui peut aider à juger l'opportunité de cette technique dans le contexte pédoclimatique de la région.

L'examen de l'ensemble des résultats obtenus dans cette partie de l'étude permet de mettre en évidence les points suivants :

- ✓ Une nette différence de rétention de l'eau entre les horizons de surface et ceux de profondeur est détectée lors du suivi de l'état hydrique du sol durant le cycle et pendant la description du profil cultural. Cette différence est significative au moment du semis de la culture où la maximisation du stockage de l'eau est une problématique qui concerne en premier lieu les zones méditerranéennes semi-arides pour les quelles l'essentiel des pluies est hivernale.
- ✓ La densité apparente constitue une première estimation de la porosité globale du sol, elle est principalement contrôlée par des facteurs cultureux, hydrologiques et biologiques (Strudley *et al.*, 2008), durant notre étude on a observé une diminution quasi-nulle de la densité apparente car la diminution significative de la densité apparente et par conséquent l'augmentation de la porosité nécessite une longue durée en semis direct.
- ✓ Une difficulté d'interpréter les résultats concernant la vitesse d'infiltration grâce au manque de standardisation des protocoles de mesure de la vitesse d'infiltration dans le contexte de non-labour.
- ✓ Les effets bénéfiques du semis direct sur les propriétés du sol ne sont pas constatés après trois (03) ans de sa pratique mais, probablement à long terme, l'évolution de la structure du sol ainsi que sa composition chimique influenceront positivement sur la productivité et la qualité du sol.

- Le semis direct avec couverture végétale a des effets notables sur les composantes du milieu (physiques, chimiques et biologiques) surtout sur la conservation de l'eau du sol, ces modifications du milieu auront nécessairement des effets sur le comportement des cultures cultivées en semis direct. Dans la deuxième partie de notre étude, on a tenté d'étudier le comportement d'un ensemble de génotypes de blé (dur et tendre) afin de les caractériser dans le contexte de non-labour sous les conditions climatiques de la région.

Sous les conditions de croissance spécifique à cette campagne (2010/2011), l'examen de l'ensemble des résultats obtenus dans cette partie de l'étude permet de mettre en évidence les points suivants :

- ✓ Le semis direct a l'avantage d'une levée homogène d'où une installation rapide de l'ensemble des génotypes étudiés.
- ✓ les génotypes étudiés diffèrent vis-à-vis la majorité des variables étudiés tels que : la date d'épiaison, la durée de cycle, la surface foliaire, le poids spécifique foliaire, l'EUE_{Grain}, l'EUE_{Biomasse}...
- ✓ En fin de cycle, les génotypes étudiés ont augmenté la biomasse aérienne grâce à une utilisation efficiente de l'eau contenu dans du sol.
- ✓ La concentration de la masse racinaire de l'ensemble des génotypes étudiés au niveau du premier horizon du profil.
- ✓ Des rendements en grain généralement acceptables pour l'ensemble des génotypes étudiés avec une supériorité de Waha pour les génotypes de blé dur (49,41 q/ha) et Rmada pour les génotypes de blé tendre (64,31 q/ha).
- ✓ Les génotypes Waha et Rmada se distinguent par des valeurs intéressantes pour la majorité des variables étudiés.
- ✓ Les résultats obtenus à partir l'étude des huit (08) variétés constituent un pas préliminaire et nécessaire pour la compréhension du comportement de la culture de blé dans le contexte de non-labour dans la région des hautes plaines sétifiennes.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Abbas K. et Abdelguerfi A. 2005.** Perspectives d'avenir de la jachère pâturée dans les zones céréalières semi-arides. *Fourrages* (2005) 184, 533-546.
- Abbassenne F. 1997.** Etude génétique de la durée des phases de développement et leur influence sur le rendement et ses composantes chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Thèse magister, INA Alger, 81p.
- Abdelguerfi A. 1992.** L'utilisation des luzernes annuelles dans les systèmes de pâturage en Algérie, *Herba*, 5, 45-51.
- Abeledo L. G., Savin R., Gustavo A. et Slafer. 2008.** Wheat productivity in the Mediterranean Ebro Valley: Analyzing the gap between attainable and potential yield with a simulation model. *European journal of Agronomy*. 28. 541-550p.
- Adjab M. 2002.** Recherche des traits morphologiques, physiologiques et biochimiques d'adaptation au stress hydrique chez différents génotypes de blé dur (*Triticum durum* desf.). Thèse de Magister, faculté des Sciences, Université Badji Mokhtar, Annaba, 84p.
- Ahl C., Joergensen R. G., Kandeler E., Meyer B. et Woehler V. 1999.** Microbial biomass and activity in silt and sand loams after long-term shallow tillage in central Germany. *Soil and Tillage Research* 49.
- Aibar J. 2006.** La lutte contre les mauvaises herbes pour les céréales en semis direct : principaux problèmes. *Options Méditerranéennes*, Série A, N° 69. P 19-26.
- Ali M., Jensen C. R., Mogensen V.O. et Bahrin A. 1999.** Drought adaptation of field grown wheat in relation to soil physical conditions. *Plant and Soil* 208: 149-159.
- Al-Kaisi M. M., et Yin X. 2005.** Tillage and crop residue effects on soil carbon and carbon dioxide emission in corn-soybean rotations. *Journal of Environmental Quality* 34:437-445.
- Alvarez R., C. R. Alvarez. et G. Lorenzo. 2001.** Carbon dioxide fluxes following tillage from a mollisol in the Argentine Rolling Pampa. *European Journal of Soil Biology* 37:161-166.
- Amokrane A., Bouzerzour H., Benmahammed A. et Djekoun A. 2002.** Caractérisation des variétés locales, syriennes et européennes de blé dur évaluées en zone semi-aride d'altitude. *Sciences et Technologie*, Université Mentouri Constantine. Numéro spécial D, 33-38.
- Andrade D. S., Colozzi-Filho A. et Giller K. E. 2003.** The soil microbial community and soil tillage, p. 51-81, In A. El Titi, ed. *Soil Tillage in Agroecosystems*. CRC Press LLC, Boca Raton.
- Angar H., Ben Haj Salam H. et Ben-Hammouda M. 2010.** Semis direct et semis conventionnel en Tunisie : les résultats agronomiques de 10 ans de comparaison. « *Actes des quatrièmes rencontres méditerranéennes du semis direct* ». *Recherches agronomiques, N° Spécial, INRAA* 9-13.
- Annichiarico P., Chiari T., Bazzani F., Bellah F., Doucene S., Yallaoui-Yaici B., Abdellaoui Z., Belloula B., Bouazza L., Bourmel L., Hamou M., Hazmoue T., Kelkouli M., Ould Said H. et Zerargui H. 2002.** Response of durum wheat cultivars to Algerian environments -II. Adaptive traits. *Journal of Agriculture and Environment*. 96:189-208.
- Annichiarico P., Bellah F. et Chiari T. 2006.** Repeatable genotype x location interaction and its exploitation by conventional and GIS- based cultivar recommendation for durum wheat in Algeria. *European Journal of Agronomy*. 24:70-81.
- Araus J. L., Ali Dib T. et Nachit M. 1998.** Some insights into morphological traits associated with cereal yield increases in Mediterranean environments. In: *Proceeding of SEWANA*, ICARDA: 139-157.
- Araus J. L., Slafer G.A., Reynolds M. P. et Royo, C. 2002.** Plant breeding and water relations in C₃ cereals. What should we breed for? *Annals of Botany*. 89: 925-940.
- Arreola Tostado J. 1996.** Etude et modélisation de l'effet des paillis sur le bilan hydrique- le cas du semis direct sous paillis au Mexique. Rapport de DEA, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier. 82 P.

- Aslam T., Choudhary M.A. et Saggar S. 1999.** Tillage impacts on soil microbial biomass C, N and P, earthworms and agronomy after two years of cropping following permanent pasture in New Zealand. *Soil and Tillage Research* 51:103-111.
- Asseng S., Turner N.C., Botwright T., Condon A.G. 2003.** Evaluating the impact of a trait for increased specific leaf area on wheat yields using a crop simulation model. *Agronomy Journal*, 95: 10 19.
- Atares P. 2006.** Semis direct dans la vallée moyenne de l'Ebre : résumé des résultats et analyse économique. *Troisièmes rencontres méditerranéennes du semi direct – Zaragoza*. Ed. : *Options méditerranéennes*, série A, n 69, pp : 77- 80.
- Auriau P., Doussinault G., Jahier J., Lecomte C., Pierre J., Pluchard P., Rousset M., Saur L. et Trottet M. 1992.** Le blé tendre. In : Gallais A. et Bannerot H. (Eds.), *Amélioration des espèces végétales cultivées*. Ed. INRA, Paris, pp. 22- 38.
- Austin R.B. et Jones H.G. 1975.** The physiology of wheat–*Annual Report-Plant breeds inst.* Cambridge inst. England, pp: 327-355.
- Bagga A.K., Ruwal K.N. et Asana R. D. 1970.** Comparison of some Indian and semi-dwarf Mexican wheat to unirrigated cultivation. *Indian J. agric. Sci.* 40: 421- 427 p.
- Bahloul F., Bouzerzour H., Benmahammed A. et Hassous K. L. 2005.** Selection of high yielding and risk efficient durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars under semi arid conditions. *Agronomy Journal*. 4: 360-365.
- Bajji M. 1999.** Étude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé dur : caractérisation de cultivars différant par leurs niveaux de résistance à la sécheresse et de variants somaclonaux sélectionnés *In vitro*. Thèse de doctorat. Univ. Louvain.
- Bajji M., Lutts S. et Kinet J. M. 2001.** Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. *Plant Science*. 160 : 669 -681p.
- Baker J. M., Ochsner T. E., Venterea R. T. et Griffis T.J. 2007.** Tillage and soil carbon sequestration--What do we really know? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118:1-5.
- Baldy C. 1974.** Contribution à l'étude fréquentielle des conditions climatiques : leur influence sur la production des principales zones céréalières d'Algérie. *Document technique*, Projet céréales. 152p.
- Baldy C. 1986.** Effets du climat sur la croissance et le stress hydrique des blés en méditerranée occidentale in : tolérance à la sécheresse des céréales en zones méditerranéenne, diversité génétique et amélioration variétale. Les colloques, n° 64, Montpellier .Ed .INRA, Paris 1993.
- Balesdent J., Chenu C. et Balabane, M. 2000.** Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil and Tillage Research* 53:215-230.
- Barriuso E., Calvet R. et Cure B. 1994.** Incidence de la simplification du travail du sol sur le comportement des produits phytosanitaires : conséquences sur les risques de pollution. In Monnier, G., Thevenet, G., Lesaffre, B. (eds.), *Simplification du travail du sol*, Vol. 65, INRA éditions, Paris (France), pp. 105-124.
- Belaïd D. 1996.** Aspects de la céréaliculture Algérienne. Ed. Office des publications universitaires, Ben Aknoun .Alger, 206 p.
- Ben Naceur M., Gharbi M. S. et Paul R. 1999.** L'amélioration variétale et les autres actions contribuant à la sécurité alimentaire en Tunisie en matière de céréales. *Sécheresse*.10:27- 33 p.
- Ben Salem M., Boussen H. et Slama A. 1997.** Évaluation de la résistance à la contrainte hydrique et calorique d'une collection de blé dur : recherche de paramètres précoces de sélection. Sixièmes Journées scientifiques du réseau Biotech.-Génie Génétique des plantes, Agence francophone pour l'enseignement supérieur et la recherche (AUPELF / U R E F). Orsay. *Sécheresse*. 2 : 75- 83 p.
- Benslimane M., Hamimed W., El zerey W., Khaldi A. et Mederbal K. 2008.** Analyse et suivi du phénomène de la désertification en Algérie du Nord. *Rev. Scien. Env*, 18 (3). 9p.
- Blake G. R. Hartge K.H. 1986.** Bulk density. In: Klute A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis*. Part 1. Agronomy second ed. *American Society of Agronomy*, Madison, WI, USA, pp. 363–375.

- Blanco-Canqui H. et R. Lal. 2007.** Soil structure and organic carbon relationships following 10 years of wheat straw management in no-till. *Soil and Tillage Research* 95:240-254.
- Blouet A., Gaillard B. et Masse J. 1984.** Le gel et les céréales. *Perspectives Agricoles* 85 : 20-25.
- Blum A. 1988.** Plants breeding for stress environments. Boca Raton, 4, CRC, Press. Floride, USA. 223p.
- Blum A. 1996.** Crop responses to drought and the interpretation of adaptation plant growth regulation. 20: 135 - 148 p.
- Boizard H., Richard G., Defossez P., Roger-Estrade J. et Boiffin J. 2004.** Etude de l'effet à moyen et long terme des systèmes de culture sur la structure d'un sol limoneux-argileux du Nord du Bassin Parisien: les enseignements de l'essai de longue durée d'Estrée-Mons (80). *Etude et Gestion des Sols* 11:11-20.
- Bootsma A., Boisvert J. B., Dejong R. et Baier W. 1996.** La sécheresse et l'agriculture canadienne. *Sécheresse*: 277 - 285 p.
- Boulal H., Zaghoulane O., EL Mourid M. et Rezgui S. 2007.** Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Ed. ITGC, INRA, ICARDA, Algérie, 176 p.
- Boulelouah N. 2002.** Analyse de la variabilité génotypique de l'absorption de l'azote chez le blé tendre. DEA.INA. Paris Grignon, 33p.
- Bourguignon C. 2004.** Comparaison analytique des sols tunisiens cultivés en labour et en semis direct. « Actes des deuxièmes rencontres méditerranéennes du semi direct ».p90-98.
- Bouzerzour H. et Monneveux P. 1992.** Analyse des facteurs de stabilité du rendement de l'orge dans les conditions des Hauts Plateaux de l'Est algérien. Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne. Diversité génétique et amélioration variétale. Les Colloques, (n°64), Montpellier (France), 15-17 Décembre 1992. Ed. INRA, Paris, p. 139-158.
- Bouzerzour H. et Benmahammed A. 1994.** Environmental factors limiting barley grain yield in the high plateaux of eastern Algeria. *Rachis*, 12 : 11-14.
- Bouzerzour H., Mahnane S., Makhlouf M. 2006.** Une association pour une agriculture de conservation sur les hautes plaines orientales semi-arides d'algérie. *Options méditerranéennes*. Série a. Numéro 69 : 107-111.
- Boyer J. S. 1982.** Plant productivity and environment. *Sci*, New series. 218: 443 - 448 p.
- Braam J., Sistrunk M., Polisensky D. H., Xu W., Purugganan M. M., Antosiewicz D. M., Campbell P. et Johnson K. A. 1997.** Plant responses to environmental stress: regulation and functions of the Arabidopsis TCH genes. *Planta*. 203 : 35 - 41p.
- Capowiez Y., Cadoux S., Bouchand P., Roger-Estrade J., Richard G. et Boizard, H. 2009.** Experimental evidence for the role of earthworms in compacted soil regeneration based on field observations and results from a semi-field experiment. *Soil Biol. Biochem.*, 41(4): 711-717.
- Carter M. R. et Rennie, D. A. 1987.** Effects of tillage on deposition and utilization of 15N residual fertilizer. *Soil and Tillage Research*, 9, 33-43.
- Catt J. A., Howse K. R., Christian D. G., Lane P. W., Harris G. L. et Goss M. J. 2000.** Assessment of tillage strategies to decrease nitrate leaching in the Brimstone Farm Experiment, Oxfordshire, UK. *Soil and Tillage Research*, 53, 185-200.
- CDSR. 2001.** Le semis direct : potentiel et limites pour une agriculture durable en Afrique du Nord. Tanger-Maroc. p38.
- Chaaban I. 2009.** Effets de trois modes de conduite culturale (semis direct, travail simplifié et conduite conventionnelle) sur l'évolution de l'humidité du sol en relation avec le comportement des cultures. . Mémoire d'ingénieur d'état. UFAS 55p.
- Chakraborty D., Garg R. N., Tomar R. K., Singh, R., Sharma S. K., Singh R. K., Trivedi S. M., Mittal, R. B., Sharma P. K. et Kamble K. H. 2010.** Synthetic and organic mulching and nitrogen effect on winter wheat (*triticum aestivea* Desf.) in a semi-arid environment. *Agric and Water Management* 97:738-748.
- Chellali B. 2007.** Marché mondial des céréales: L'Algérie assure sa sécurité alimentaire. <http://www.lemaghreb.dz.com/admin/folder01/une.pdf>.

- Chenafi H., Bouzerzour H., Aidaoui A. et Saci A. 2006. Yield response of durum wheat (*Triticum durum*, Desf) cultivar Waha to deficit irrigation under semi arid growth conditions. *Asian Journal plant Science.*, 5: 854-860.
- Clarck et Mac-Caig. 1982. Excised leaf water relation capability as an indicator of drought resistance of *Triticum* genotypes. *Canadian Journal of Plant Science.* 62: 571-576 p.
- Clement G. et Prats. 1971. Les céréales. Ed.J.B. Bailliers et Fils, 360p.
- Codron J. M. et Cros B. 1984. Autogestion et intensification céréalière en Algérie. *Tiers-monde*, N°98 :419-426.
- Colombani J., Lamagat J. P. et Thibaux J. P. 1973. Mesure de la perméabilité des sols en place : un nouvel appareil pour la methode Muntz, une extension de la méthode Porchet aux sols hétérogènes. *hydrol. Sci. J.*, 18: 197-235.
- Condon A. G., Richards R. A., Rebetzke G. J. et Farquhar GD. 2004. Breeding for high water-use efficiency. *Journal of Experimental Botany* 55: 2447-2460.
- Cook R. J. et Veseth R. J. 1991. Limiting effects of the physical and chemical environment. In Wheat Health Management- Plant Health Management Series. *The American Phytopathological Society Press*, PP. 21-39.
- Cooper P. J. M., Gregory P. J., Tully D. et Harris H. C. 1987. Improving water use efficiency of annual crops in the rainfed farming systems of west Asia and North Africa. *Exp. Agric.*, 23: 113-158.
- CRAAQ. 2000. Guide des Pratiques de conservation en grandes cultures. *Module 2 –travail du sol, Feuillet 2-E. Québec (Canada).*
- Culley J. L. B., Larson W.E. et Randall G. W. 1987. Physiacal properties of a typic Haplaquoll under conventional and no-tillage. *Soil Science Society of American Journal*, 51: 1587-1593.
- Dakheel A. J., Nasi I., Mahalakshmi V. et Peacock J. M. 1993. Morpho-physiological traits associated with adaptation of durum wheat to harsh Mediterranean environments. *Aspects of Applied Biology* 34. *Physiology of varieties* 307- 297.
- Dao T. H. 1998. Tillage and crop residue effects on carbon dioxide evolution and storage in a Paleustoll. *Soil Science Society of American Journal* 62:250-256.
- Davies W.J., Wilkinson S., Loveys B. 2002. Stomatal control by chemical signalling and the exploitation of this mechanism to increase water use efficiency in agriculture. *New Phytologist* 153:449-460.
- Debaeke P. et Aboudrare A. 2004. Adaptation of crop management to water-limited environments. *European Journal of Agronomy*, 21:433-446.
- Derpsch R. 2001. Conservation tillage, no-tillage and related technologies. In: Garc'ia-Torres, L., Benites, J., Mat'inez-Vilela, A. (Eds.), *Conservation Agriculture, A Worldwide Challenge*, vol. I. ECAF and FAO, Spain, pp. 161–170.
- Dexter A. R. 1997. Physical properties of tilled soils. *Soil and Tillage Research*, 43, 41-63.
- D'Haene K., Vermang J., Cornelis W. M., Leroy B. L. M., Schiettecatte W., De Neve S., Gabriels D. et G. Hofman. 2008. Reduced tillage effects on physical properties of silt loam soils growing root crops. *Soil and Tillage Research* 99:279-290.
- Dixon R. et Paiva N. L. 1995. Stress - induced phenylpropanoid metabolism. *The plant cell* .7: 1085 - 1097 p.
- Doran J. W. 1980. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Science Society of America Journal*, 44, 765-771.
- Doussinault G., Kaan F., Lecomte C. et Monneveux P. 1992. Les céréales à paille : présentation générale. In : Gallais A. et Bannerot H. (Eds.), *Amélioration des espèces végétales cultivées*. Ed. INRA, Paris, pp. 13-21.
- Drijber R. A., Doran J.W., Parkhurst A.M. et D.J. Lyon. 2000. Changes in soil microbial community structure with tillage under long-term wheat-fallow management. *Soil Biology and Biochemistry* 32.

- Dubey R. S. 1994.** Protein synthesis by plants under stressful conditions, in: M. Pessarakli (Ed.), *Handbook of Plant and Crop Stress*, Marcel Dekker, New York, pp. 277/299.
- Edwards J. H., Wood C. W., Thurlow D. L. et Ruf, M. E. 1992.** Tillage and crop rotation effects on fertility status of a Hapludult soil. *Soil Science Society of America Journal*, 56, 1577-1582.
- Ehlers W. 1975.** Observations on earthworm channels and infiltration on tilled and untilled loess soil. *Soil Science.*, 119(3): 242-248.
- El hassani T.A. et Persoons E. 1994.** Agronomie moderne. Bases physiologiques et agronomiques de la production végétale. (éd). *AUPELF-UREF*: 544 p.
- Eliard J.L. 1979.** Manuel d'agriculture générale. Ed. J.B. Bailière, Paris, 344 p.
- English MJ., Musick JT., Murty V. V. N .1990.** Deficit irrigation. In: *Management of Farm Irrigation Systems*. Hoffman GJ, Howell TA, Solomon KH (eds.). ASAE Monograph, Michigan. pp. 631-663.
- Evans L.T. et Rawson H. M. 1975.** Photosynthesis and respiration by the flag leaf and components of ear during grain development in wheat. *Australian Journal of Biology*: 223-245.
- FAO, 2003.** Economie de l'agriculture de conservation. Service de la gestion des terres et de la nutrition des plantes. Division de la mise en valeur des terres et des eaux. Rome, Italie 77p.
- FAOSTAT. 2007.** Statistical database of the food and agriculture organization of the United Nations. <http://www.fao.org>. (Consulté le 11/01/2010).
- Feekes.1954.** Classement Rev2. Agr1. (1984).
- Feillet P. 2000.** Le grain de blé composition et utilisation. Ed. INRA, Paris, 308 p.
- Fellah A., Bouzerzour H., Benmahammed A. et Djekoun A. 2002.** Selection pour améliorer la tolérance aux stress abiotiques chez le blé dur (*Triticum durum*, Desf.). *Actes IAV*, 22: 161-168.
- Feng Y., Motta A. C., Reeves D. W., Burmester C. H., Santen E.V. et J. A. Osborne. 2003.** Soil microbial communities under conventional-till and no-till continuous cotton systems. *Soil Biology and Biochemistry* 35:1693-1703.
- Findiling A. 2001.** Étude et modélisation de certains effets du semis direct avec paillis de résidus sur les bilans hydrique, thermique et azoté d'une culture de maïs pluvial au Mexique. Thèse de doctorat de l'École Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts. 355 p., Montpellier.
- Fischer R. A. 1985.** Number of kernels in wheat crops and influence of solar radiation and temperature. *Journ. Agric. Sci. Camb.* 105: 447-461.
- Fischer R. A., Rees D., Sayre K. D., Lu Z. M., Condon A. G. et Larqué-Saavedra A. 1998,** Wheat yield progress is associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies. *Crop Science.*, 38: 1467-1475.
- Follett R. F. et Peterson G. A. 1988.** Surface soil nutrient distribution as affected by wheat-fallow tillage systems. *Soil Science Society of America Journal*, 52, 141-147.
- Fortin M. C., Rochette P., Pattey E. 1996.** Soil Carbon Dioxide Fluxes from conventional and No-Tillage Small-Grain Cropping Systems. *Soil Science Society of American Journal* 60, 1541-1547.
- Fowler D. B. 1995.** Seeding equipment. In: *Winter Wheat Production Manual*. Published by Ducks Unlimited Canada and CPS Conservation Production Systems Ltd., Saskatchewan, Canada. pp: 661-621.
- Franzluebbers A. J., Hons F.M. et D. A. Zuberer. 1995.** Tillage and crop effects on seasonal dynamics of soil CO₂ evolution, water content, temperature, and bulk density. *Applied Soil Ecology* 2:95-109.
- French R. J. et Schultz, J. E. 1984.** Water use efficiency of wheat in a Mediterranean-type environment. I. The relation between yield, water use and climate. *Australien Journal Agricultural Research* 35, 743-764.
- Gate P. 1995.** Ecophysiologie du blé. Ed. ITCF. Technique et Documentation. Lavoisier, Paris, 419 p.
- Giunta F., Motzo R. et Deidda, M. 1993.** Effect of drought on yield and yield components of durum wheat and triticale in Mediterranean environment. *Field crops Research*. 33: 399-409.
- Gonzalez A., Martin I. et Ayerbe L. 1999.** Barley yield in water stress conditions. The influence of precocity, osmotic adjustment and stomatal conductance. *Field Crop Research*. 62: 23 -34 p.

- Gouaidia L. 2008.** Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi aride, cas de la nappe de meskiana nord-est algérien. Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar-Annaba, 199p.
- Gregory P. J., Simmonds L. P. et Pilbeam C. J. 2000.** Soil type, climatic regime, and the response of water use efficiency to crop management. *Agronomy Journal*, 92: 814-820.
- Gregory P. J., Tennant D. et Belford R. K. 1992.** Root and shoot growth, and water and light use efficiency of barley and wheat crops grown on a shallow duplex soil in a Mediterranean-type environment. *Australian Journal of Agricultural Research* 43: 555-573.
- Guerif J. 1994.** Influence de la simplification du travail du sol sur l'état structural des horizons de surface : conséquences sur leurs propriétés physiques et leurs comportements mécaniques. *Simplification du travail du sol. Colloque 16 mai 1991. Paris. INRA*. 65, 13-33.
- Hadjichistodoulou A. 1985.** Stability performance of cereals in low rainfall areas as related to adaptive traits. In: *drought tolerance in winter cereals*. Srivastava J.P., Porceddu E., Acevedo E., Varma S. (éd). John Wiley and sons. UK: 191 -200 p.
- Halvorson A. D., Wienhold B. J. et Black A. L. 2001.** Tillage and nitrogen fertilization influence grain and soil nitrogen in an annual cropping system. *Agronomy Journal*, 93, 836-841.
- Hamblin A.P. et Hamblin J. 1985.** Root characteristics of some temperate legume species and varieties on deep, free-draining anti-sols. *Australian journal of agricultural research* 36: 63-72.
- Hamdy A., Ragab R., Scarascia-Mugnozza E. 2003.** Coping with water scarcity: water saving and increasing water productivity. *Irrigation and Drainage* 52: 3-20.
- Hannachi A. et 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 d'ingénieur d'état. UFAS 82p.
- Hatfield J. L., Sauer T. J., Prueger J.H. 2001.** Managing soils to achieve greater water use efficiency: a review. *Agronomy J.* 93 (March/April (2)), 271-280.
- Hauchinal R. R., Tandon J.P. et Salimath P.M. 1993.** Variation and adaptation of wheat varieties to heat tolerance in Peninsular India. Saunders, D.A. and Hettel G.P. Eds, wheat in heat stressed environments, irrigated, dry areas and rice-wheat farming systems, Mexico, D. F., CIMMYT, 175-183.
- Hazmoune T. 2000.** Etude comparée de l'appareil racinaire de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). 1^{er} Symposium International sur la filière blé. Enjeux et Stratégie du 07 au 09 fév. Alger. P 181-185.
- Hénin S., Gras R., Monnier G. 1969.** Le profil cultural (2^e édition). Masson Ed. Paris.
- Henry Y. et De Buyser J. 2001.** L'origine des blés. In : Belin. Pour la science (Ed.). De la graine à la plante. Ed. Belin, Paris, pp. 69-72.
- Holland J. M. 2004.** The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 103, 1-25.
- Hsiao T., Steduto P., Fereres E. 2007.** A systematic and quantitative approach to improve water use efficiency in agriculture. *Irrigation Science* 25: 209-231.
- Hsissou D. 1994.** Sélection *In vitro* et caractérisation de mutants de blé dur tolérants à la sécheresse. Thèse de doctorat. Univ. Catholique de Louvain.
- Hubert F., Hallaire V., Sardini P., Caner L. et Heddadj D. 2007.** Pore morphology changes under tillage and no-tillage practices. *Geoderma*, 142(1-2): 226-236.
- Huwe B. 2003.** The role of soil tillage for soil structure, p. 27-50, In A. El Titi, ed. *Soil Tillage in Agroecosystems*. CRC Press LLC, Boca Raton.
- Ibekwe A.M., Kennedy A.C., Frohne P.S., Papiernik S.K., Yang C.H. et D. E. Crowley. 2002.** Microbial diversity along a transect of agronomic zones. *FEMS Microbiology Ecology* 39:183-191.
- ITGC. 1980.** Synthèse et bilan des opérations intégrées de recherche et développement de l'Institut de Développement des Grandes Cultures 1971-1979, CCCE-SEDES-ITGC, Alger, 364 p.
- Jackson P., Robertson M., Cooper M. et Hammer G. 1996.** The role of physiological understanding in plant breeding, from a breeding perspective. *Field Crops Research*, 49: 11-37.

- Jenner C. F. et Rathjen, A. J. 1975.** Factors regulating the accumulation of starch in ripening wheat grain. *Austr. J. Plant Physiol.*, 2: 311-322.
- Johanson D. A., Richards R. A. et Turner N.C. 1973.** Yield water relation gas exchange and surface reflectance on near- isogenic wheat lines differing in glaucousness. *Crop Science*, 23 :318-325.
- Jonard P. et Koller J. 1950.** Les facteurs de la productivité chez le blé. Résultats obtenus en 1948 et 1949. *Ann. Am. Plant.*, 2: 256-276.
- Jones H.G., Flowers T.J. et Jones M.B. 1989.** Plants under stress. Univ. Cambridge.
- Karou M., R. El hanfid., D. H. Smith. et K. Samir .1998.** Physiological attributes associated with early-season drought resistance in spring durum wheat cultivars. *Can. J. Plant Sci.*, 78, 227-237.
- Kay B. D. et A. J. Vanden Bygaart. 2002.** Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil and Tillage Research* 66:107-118.
- Kennedy A. C. 1999.** Bacterial diversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74:65-76
- Kern J. S. et M. G. Johnson. 1993.** Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. *Soil Science Society of America Journal* 57:200-210.
- Khaldoune A., Kelkouli M., Kahlerras S., Amroune R. 1997.** Techniques d'irrigation de complément des céréales en Algérie, brochure éditée par l'ITGC : 20p.
- Kirkham M. B., Smith E. L., Danasobhon C. et Draket T. I. 1980.** Resistance to water loss of winter wheat flag leaves. *Cer. Res. Commun.* 8: 393 p.
- Kladivko E. J. 2001.** Tillage systems and soil ecology. *Soil and Tillage Research* 61:61-76.
- Klein J. D., Cohen I., Hebbe S., Asido Y., Dolgin B. et rt Bonil D. J. 2002.** Establishment of wheat seedlings after early sowing and germination in an arid Mediterranean environment. *Agronomy Journal* 94: 585-893.
- Köller K. 2003.** Techniques of Soil Tillage, p. 1-25, In A. El Titi, ed. *Soil Tillage in Agroecosystems*. CRC Press LLC, Boca Raton.
- Kribaa M. 2003.** Effet de la jachère sur les sols en céréaliculture pluviale dans les zones semi-arides méditerranéennes. Cas des hautes plaines sétifiennes en Algérie. Impact des différentes techniques de travail de la jachère sur les caractéristiques structurales et hydrodynamiques du sol. Thèse de doctorat. p121. INA El-Harrach Alger.
- Kribaa M., Hallaire S. et Curmi J. 2001.** Effects of tillage methods on soil hydraulic conductivity and durum wheat grain yield in semi-arid area. *Soil and Tillage* 37:17-28.
- Krishnamurthy L. V., Vadez M., Jyotsna Devi R., Serraj S. N., Nigam Sheshshayee.M. S., Chandra R. Aruna. 2007.** Variation in transpiration efficiency and its related traits in a groundnut (*Arachis hypogaea* L.) mapping population, *Field Crops Research*.
- Labreuche J., Viloingt T., Caboulet D., Daouze J. P., Duval R., Ganteil A., Jouy L., Quere L., Boizard H. et J. Roger-Estrade. 2007.** Evaluation des impacts environnementaux des Techniques Culturelles Sans labour (TCSL) en France. Partie I: La pratique des TCSL en France. ADEME.
- Lahmar R. et Bouzerzour H. 2010.** Du mulch terreux au mulch organique. Revisiter le dry-farming pour assurer une transition vers l'agriculture durable dans les Hautes Plaines Sétifiennes. « *Actes des quatrièmes rencontres méditerranéennes du semi direct* ». *Recherches agronomiques, N0° Spécial, INRAA* p 48-58.
- Lahmar R. et Ruellan A. 2007.** Dégradation des sols et stratégies coopérative en Méditerranée : La pression sur les ressources naturelles et les stratégies de développement durable. Dans : *Cahiers Agricultures*, 16, pp. 318-323.
- Lahmar R., Batouche S., Labiad H. et Meslem M. 1993.** Les sols et leur répartition dans les Hautes Pleines Sétifiennes. *Eaux et sols d'Algérie*, 6: 60-70.
- Lal R., Reicosky D. C. et J. D. Hanson. 2007.** Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. *Soil and Tillage Research* 93:1-12.

- Lampurlanés J. et Cantero-Martinez C. 2006.** Hydraulic conductivity, residue cover and soil surface roughness under different tillage system in semiarid conditions. *Soil and Tillage Research*, 85: 16-26.
- Léifi N. 1997.** Biodiversité racinaire et résistance à la sécheresse. Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation université Laval Québec 168p.
- Lery F. 1982.** L'agriculture au Maghreb ou pour une agronomie méditerranéenne. Ed. Maisonneuve et Larose, Paris, 338 p.
- Levitt J. 1982.** Responses of plants to environmental stresses. *Academic Press*. New York San Francisco – London: 607p.
- Lipiec J., Kus J., Slowinska-Jurkiewicz A. et Nosalewicz A., 2006.** Soil porosity and water infiltration as influenced by tillage methods. *Soil and Tillage Research.*, 89(2): 210-220.
- Liu X. J., Mosier A. R., Halvorson A. D. et Zhang F. S. 2006.** The impact of nitrogen placement and tillage on NO, N₂O, CH₄ and CO₂ fluxes from a clay loam soil. *Plant and Soil*, 280, 177-188.
- Liu X. J., Mosier A. R., Halvorson A. D., Reule C. A. et F. S. Zhang. 2007.** Dinitrogen and N₂O emissions in arable soils: Effect of tillage, N source and soil moisture. *Soil Biology and Biochemistry* 39:2362-2370.
- Loveys B. R., Stoll M., Dry P. R. et McCarthy MG .2000.** Using plant physiology to improve the water use efficiency of horticultural crops. *Acta Horticulturae* 537: 187-197.
- Lowery B. et R. T. Schuler. 1996.** Duration and effects of compaction on soil and plant growth in Wisconsin. *Soil and Tillage Research*. 29: 205-210.
- Lützelshwab C. 2000.** La compagne genevoise des colonies suisses de Sétif (Algérie) et les innovations agricoles de son directeur Gottlieb Ryf (1984-1903), révélatrices des mutations sociales de l'Algérie colonial. *RFHOM T 87 n ° 328-329* : 185-207.
- Madhava Rao K.V., Raghavendra A. S. et Janardhan Reddy K. 2006.** Printed in the Netherlands. *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. Springer*: 1-14 p.
- Masle-Meynard J. 1980.** L'élaboration du nombre d'épis chez le blé d'hiver. Influence de différentes caractéristiques de la structure du peuplement sur l'utilisation de l'azote et de la lumière. Thèse de Docteur-Ingénieur. INA-PG, Paris, 274p.
- Matin M. A, Brown J. H. et Ferguson H (1989)** Leaf water potential, relative water content, and diffusive resistance as screening techniques for drought resistance in barley. *Agronomy Journal* 81: 100-105.
- McCarty G. W., Lyssenko N. N. et Starr J. L. 1998.** Short-term changes in soil carbon and nitrogen pools during tillage management transition. *Soil Science Society of America Journal*, 62, 1564-1571.
- McConkey B. G., Curtin D., Campbell C. A., Brandt S. A. et Selles, F. 2002.** Crop and soil nitrogen status of tilled and no-tillage systems in semiarid regions of Saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Science*, 82, 489-498.
- Mekhlouf A. H. 2009.** Etude de la variabilité génétique du blé dur (*Triticum durum* Desf.) pour la tolérance au froid. Thèse de Doctorat ES-Science. INA ; El-Harrach (Alger) : 128p.
- Mekhlouf A., Bouzerzour H., Bemahammed A., Hadj Sahraoui A. et Harkati N. 2006.** Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum*, Desf.) au climat semi- aride. *Sécheresse* 17 (4) :507-513.
- Meyer K., Joergensen R. G. et B. Meyer. 1996.** The effects of reduced tillage on microbial biomass C and P in sandy loess soils. *Applied Soil Ecology* 5:71-79.
- Monneveux D. 1997.** La génétique face au problème de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse :
- Monneveux P. 1991.** Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver. In : *l'amélioration des plantes pour l'adaptation au milieu arides*.(éd). *Aupelf-Uref.J. Eurotxt.L.* Paris: 165 -186 p.
- 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. 1971.** Céréales 2. Phytotechnie spéciale. Ed. La maison rustique, Paris, 236p.
- Mrabet R. 2001.** Le semis direct : Une technologie avancée pour une Agriculture durable au Maroc. Bulletin de Transfert de Technologie en Agriculture MADREF-DERD. N° 76, 4p. <http://agriculture.ovh.org>.

- Munkholm L. J., Schjonning P., Rasmussen K. J. et K. Tanderup. 2003. Spatial and temporal effects of direct drilling on soil structure in the seedling environment. *Soil and Tillage Research* 71:163-173.
- Nizam Uddin M., Marshall D. R. 1989. Effects of dwarfing genes on yield and yield components under irrigated and rainfed conditions in wheat (*Triticum aestivum*L.). *Euphytica*, 42: 127-134.
- Nouiri I., M'Hedbi K., Ben-Hammouda M., Kammassi M., Neit el arbi S., Ali Hannachi M., Guesmi L., Mannai C. et Hajji S. 2004. Etude comparative de l'humidité des horizons du sol entre le semis direct et le semis conventionnel. « *Actes des deuxièmes rencontres méditerranéennes du semi direct* ».
- Ollier C. et Poirée M. 1981. Irrigation, les réseaux d'irrigation théorie, technique et économie des arrosages. 5^{ème}. Ed. Erolles. Paris, 503p.
- Oorts K. 2006. Effect of tillage system on soil organic matter stocks and C and N fluxes in cereal cropping systems on a silt loam soil in Northern France, PhD thesis, Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris.
- Pagliai M., Vignozzi N. et Pellegrini, S. 2004. Soil structure and the effect of management practices. *Soil and Tillage Research*., 79(2): 131-143.
- Passioura J. 2004. Increasing crop productivity when water is scarce: from breeding to field management. In *proceedings of the 4th International Crop Science Congress "New directions for a diverse planet"* Brisbane, Australia. 12 pages, www.regional.org/au/au/cs.
- Passioura J. B. 1996. Drought and drought tolerance » *Plant growth regulation*, 20: 79- 83.
- Passioura JB. 1977. Grain yield, harvest index and water use of wheat. *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science* 43: 117-120.
- Peigné J., Ball B. C., Roger-Estrade J. et C. David. 2007. Is conservation tillage suitable for organic farming? A review. *Soil Use and Management* 23:129-144.
- Pekrun C., Kaul H. P. et Claupein W. 2003. Soil tillage for sustainable nutrient management. In El Titi, A. (ed.), *Soil tillage in agroecosystems*, CRC Press, New-York (USA), pp. 83-113.
- Perrier A. 1973. «Bilan hydrique de l'assolement Blé-jachère et évaporation d'un sol nu, en région semi-aride», *Réponses des plantes aux facteurs climatiques*, Actes Coll. Upsala, 1970 (Ecologie et conservation, 5), 477-487.
- Perrier A. et Soyer J. P. 1970. Culture céréalière sur les hauts plateaux : étude de la rotation blé/jachère dans la région de Sétif. Doc interne Station ITGC Sétif 25 pp.
- Poorter H. 1989. Interspecific variation in relative growth rate: on ecological consequences. In: Causes and consequences of variation in growth rate and productivity of higher plants.
- Radford B. J., G. Gibson R. G. H. Nielsen D.G. Butler G. D. Smith et D.N. Orange. 1992. Fallowing practices, soil water storage, plant available soil nitrogen accumulation and wheat performance in southwest Queensland. *Soil and Tillage Research*. 22: 73-93.
- Rajaram S. et Van Ginkel M. 1996, Yield potential debate: germplasm vs. methodology, or both. In M.P. Reynolds, S. Rajaram & A. McNab, eds. *Increasing Yield Potential in Wheat: Breaking the Barriers*. Workshop Proc., Cd. Obregon, Mexico, 28-30 Mar. 1996. Mexico, DF, CIMMYT.
- Rasmussen K. J. 1999. Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: A Scandinavian review . *Soil and Tillage Research*, 53(1) : 3-14.
- Rawson H. M. 1988. High temperature effect on the development and yield of wheat and practices to reduce deteriorious effects. In conf. On wheat production constraints in tropical environment. Eds klatt. UNDP- Cimmyt : 44-62.
- Reyes Gomez V. M. 2002. Quantification et modélisation des flux hydriques, thermiques et azotés dans les systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale dans la région des Cerrados brésiliens. Thèse de doctorat, Université de Montpellier II. Science et Technique du Languedoc. 192p.
- Reynolds M. P., Acevedo E., Sayre K. D. et Fischer R. A. 1994. Yield potential in modern wheat varieties: its association with a less competitive ideotype. *Field Crops Research*., 37: 149-160.

- Reynolds M. P., Singh R. P., Ibrahim A., Ageeb O. A. A., Larqué-Saavedra A. et Quick J.S. 1998.** Evaluating physiological traits to complement empirical selection for wheat in warm environments. *Euphytica*, 100: 84-95.
- Richards R. A. 1991.** Crop improvement for temperate Australia: future opportunities. *Field Crops Research*, 26: 141-169.
- Richards R. A. 1996.** Defining selection criteria to improve yield under drought. *Plant Grow. Reg.*, 20: 157-166.
- Richards R. A., Rebtzke G. J., Van Herwaarden A. F., Dugganb B. L., Condon A. 1997.** Improving yield in rainfed environments through physiological plant breeding. *Dryland Agriculture*, 36: 254-66.
- Richards R. A., Rebetzke G. J. Condon A. G. et Van Herwaar-Den A. F. 2002.** Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. *Crop Science*. 42:111-121.
- Roger-Estrade J., Richard G., Boizard H., Boiffin J., Caneill J., et H. Manichon. 2000.** Modelling structural changes in tilled topsoil over time as a function of cropping systems. *European Journal of Soil Science* 51:455-474.
- Roger-Estrade J., Richard G., Caneill J., Boizard H., Coquet Y., Defosseez P., Manichon H. 2004.** Morphological characterisation of soil structure in tilled fields: from a diagnostic method to the modeling of structural changes over time. *Soil and Tillage Research* 79, 33-49.
- Saber N. et Mrabet R. 2002.** Impact of no tillage and crop sequence on selected soil quality attributes of a *vertic calcixeroll* soil in Morocco. *Agronomy*, 22:451-459.
- Sandretto C. 2001.** Conservation tillage firmly planted in US agriculture. *Agricultural Outlook*, March 2001, 5-6.
- Sasal M.C., Andriulo A.E. et Taboada M.A. 2006.** Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinian Pampas. *Soil and Tillage Research*, 87(1): 9-18.
- Scofield T., Evans J., Coook M. G. et Wardlow I. F. 1988.** Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat. *Australian Journal of Plant physiology*. 4: 785 - 797 p.
- Sebillotte M. 1990.** Le système de culture, un concept opératoire pour les agronomes. In Combe, L., Picard, D. (eds.), INRA éditions, Paris (France), pp. 165-196.
- Sébillotte M., Allain S., Doré T. et Meynard J. M. 1993.** «La jachère et ses fonctions agronomiques, économiques et environnementales, Diagnostic actuel», *Le Courrier de l'Environnement*, 20, 1-12.
- Seguy., Bouziane S. et Maronzzi C. 2001.** Système de culture et dynamique de la matière organique. <http://agroecologie.Cirad.Fr/PDF/postlsfr.Pdf>.
- Seltzer P. 1946.** Le climat de l'Algérie, Recueil de données météo. Institut de Technologie Agricole, Mostaganem (Algérie), 142 p.
- Serries H. 1992.** Agro-physiological consequences of a divergent selection based on foliar desiccation in sunflower. In: Physiology-breeding of winter cereals for stressed Mediterranean environments. Eds. Acevedo E.; Conese E.; Monneveux P. and Srivastava J.P., INRAF.lescoloques 55:211-225.
- Shorter R., R. J. Lawn. et G. L. Hammer. 1991.**Improving genotypic adaptation in crops - A role for breeders, physiologist and modellers. *Experimental Agriculture* 27 : 155-175.
- Siddique K. H. M., Kirby E. J. M. et Perry M. W. 1989.** Ear stem ratio in old and modern wheat varieties: Relationship with improvement in number of grains per ear and yield. *Field Crops Research*. 21: 59-78.
- Slafer G. A. et Andrade F. H. 1990.** Genetic improvement effect on pre- anthesis phonological attributes related to wheat grain yield. *Field Crop Research* 23, 255-263.
- Slama A., Ben Salem M., Ben Naceur M. et Zid E. D. 2005.** Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. *Sécheresse* (16) 3 :225-9.
- Soltner D. 2005.** Les grandes productions végétales. 20ème Edition. Collection science et techniques agricoles. 472p.
- Sorrells M. E., Diab A. et Nachit M. 2000.** Comparative genetics of drought tolerance. *Options méditerranéennes série A (Séminaires méditerranéens)*, 40: 19 1-201.

- Spagnoletti-Zeuli P. L. et Qualset C. O. (1990).** Flag leaf variation and the analysis of diversity in durum wheat. *Plant Breed*, 105:189-202.
- Spedding T.A., Hamel C., Mehuys G. R. et C. A. Madramootoo. 2004.** Soil microbial dynamics in maize-growing soil under different tillage and residue management systems. *Soil Biology and Biochemistry* 36:499-512.
- Strudley M. W., Green T. R. et Ascough J. C. 2008.** Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time : State of the science. *Soil and Tillage Research*, 99(1): 4-48.
- Subbiah B. V., Katyal J. C., Narasimham R. L., Dakshinamurti C. 1968.** Preliminary investigation on root distributions of high yielding wheat varieties. *Inst. J. Apple. Radiat. Isot.*, 19, 385-390.
- Tambussi E. A., Bort J., Araus J. L. 2007.** Water use efficiency in C₃ cereals under Mediterranean conditions: a review of physiological aspects. *Ann Appl Biol* 150, pp 307-321.
- Tardieu F, Zhang J, Davies W. J. 1992.** What information is conveyed by an ABA signal from maize roots in drying field soil? *Plant, Cell and Environment* 15:185-191.
- Tardieu F. 2003.** Virtual plants: modeling as a tool for the genomics of tolerance to water deficit. *Trends in Plant Science* 8: 9-14.
- Tardieu F. et Manichon H. 1986.** Caractérisation en tant que capteur d'eau de l'enracinement du maïs en parcelle cultivée. II une méthode d'étude de la répartition verticale et horizontale des racines. *Agronomie*, 7(5), 415-425.
- Tebrügge F., et R. A. Düring. 1999.** Reducing tillage intensity - a review of results from a long-term study in Germany. *Soil and Tillage Research* 53:15-28.
- Trojan M. D. et Linden D.R. 1998.** Macroporosity and hydraulic properties of earthworm-affected soils as influenced by tillage and residue management. *Soil Science Society of America*. 62(6): 1687-1692.
- Tsimilli-Michael M. M., Pêcheux R. J. et Strasser. 1998.** Vitality and stress adaptation of the symbionts of coral reef and temperate foraminifers probed *in hospite* by the fluorescence kinetics O-J-I-P. *Archs. Sci. Genève*.51: 205 - 240 p.
- Turner N. C. 1986 (a).** Adaptation to water deficit: a changing perspective. *Australian Journal of Plant Physiology* .13: 175- 90 p.
- Turner N. C. 1986 (b).** Crop water deficits: a decade of progress. *Advances in Agronomy* 39:1-51.
- Turner N. C. 1997.** Further progress in crop water relations. *Advances in Agronomy* 58:293-338.
- Turner N.C. 2001.** Optimizing water use. In: Nösberger J, Geiger HH, Struik PC (eds) *Crop Science, Progress and Prospects, Third International Crop Science Congress Hambourg*. CABI, Wallingford, pp. 119-135.
- Unger W.P. 1983.** Water Conservation: Southern Great Plains. In Dregne, H. E. And Willis, W. O. *Dryland Agriculture*. 35-56. Madison, Wis, *American Society of Agronomy*.
- Van Damme P.L. J. 1990.** Adaptation to drought stress in plants. *Med. Fac. Landbouw. Rijks Univ. Gent*. 55: 121-126.
- Vandenbygaart A. J., Fox C. A., Fallow D. J. et Protz R., 2000.** Estimating earthworm-influenced soil structure by morphometric image analysis. *Soil Science Society of America*., 64(3): 982-988.
- Vervoort R. W. et Cattle S. R. 2003.** Linking hydraulic conductivity and tortuosity parameters to pore space geometry and pore-size distribution. *Journal of Hydrology*, 272(1-4): 36-49.
- Vogeler I., Horn R., Wetzal H. et J. Krümmelbein. 2006.** Tillage effects on soil strength and solute transport. *Soil and Tillage Research* 88:193-204.
- Wardlaw I. F., Dawson I. A. et Munibi P. M. 1989.** Tolerance of wheat to high temperature during reproductive stage. *Australian Journal research* 46: 15-24.
- Wardlaw I. F., Moncur L. 1995.** The response of wheat to high temperature following anthesis. I. The rate and duration of kernel filling. *Australian Journal of Plant Physiology* 22: 391-397.
- Wilhelm W.W., Mielke L. N. et Fenster C. R. 1982.** Root development of winter wheat as related to tillage practice in Western Nebraska. *Agronomy Journal*., 74: 85-88.
- Wilkinson S. et Davies W.J. 2002.** ABA-based chemical signalling: the co-ordination of responses to stress in plants. *Plant, Cell and Environment* 25:195-210.

- Wright A.L., Hons F. M. et J. Matocha John E. 2005. Tillage impacts on microbial biomass and soil carbon and nitrogen dynamics of corn and cotton rotations. *Applied Soil Ecology* 29:85-92.
- Xu W., Campbell P., Vargeese A. K. et Braam J. 1996. The Arabidopsis XET-related gene family: environmental and hormonal regulation of expression. *Plant Journal*. 9: 879 - 889 p.
- Yalcin H., Cakir E. et Aykas E. 2005. Tillage parameters and economic analysis of direct seeding, minimum and conventional tillage in wheat. *Journal of agronomy*, 4:329-332.
- Yang J., Zhang J., Huang Z., Zhu Q. et Wang L. 2000. Remobilization of carbon reserves is improved by controlled soil-drying during grain filling of wheat. *Crop Science* 40:1645-1655.
- Yang J., Zhang J., Wang Z., Zhu Q. et Liu L. 2001. Water deficit induced senescence and its relationship to the remobilization of pre-stored carbon in wheat during grain filling. *Agronomy Journal* 93:196-206.
- Zadoks J.C., Chang P.T. et Konzak E.F. 1974. A decimal code for growth stages of cereals. *Ecarpia Bul.*, 7: 42-52.
- Zeghida A., Amrani R., Djennadi F., Ameroun R., Khldoun A. A. et Belloucif M. 2004. Etude de la variabilité de réponse des plantules de blé dur (*Triticum durum* Desf) à la salinité. *Céréaliculture*. ITGC. 42. Constantine : 5p.
- Zhang J., Nguyen H.T. et Blum A. 1999. Genetic analysis of osmotic adjustment in crop plants. *J. Exp. Bot.*, 50: 291-302.

Annexes

Annexe n° 01. Description détaillée du profil cultural.

	Horizon 1	Horizon 2
Profondeur (cm)	36	20
Transition avec l'horizon sou jacent	Distincte (2 à 5 cm) Limite ondulée nette	Très nette < 2 cm Limite ondulée nette
Humidité naturelle	Frais	Sec
Couleur humide	(hue : 5YR, value : 3, chroma : 2)	(hue : 5YR, value : 4, chroma : 2)
Couleur sèche	(hue : 5YR, value : 4, chroma : 4)	(hue : 5YR, value : 6, chroma : 1)
Tâches :	Présence de tâches de calcaire (hue : 5Y, value : 8, chroma 1)	Présence de tâches de calcaire (hue : 5Y, value : 8, chroma 1)
- Formes	Irrégulières	Irrégulières
-Distribution	Homogène	Homogène
- Dimensions	Entre 0.2 A 1.5 cm	Entre 0.2 A 2 cm
- Abondance	De 2 à 15 %	De 15 à 30 %
La matière organique	Non directement décelable	Non directement décelable
Les éléments calcimagnésiques	Présence des éléments calcimagnésiques de nature carbonatés, ont la forme de nodules, généralisés sur tout l'horizon et ont une vive effervescence	Présence des éléments calcimagnésiques de nature carbonatés, ont la forme de nodules, généralisés sur tout l'horizon et ont une vive effervescence
Les éléments grossiers :		
 <u>Graviers (0.2 à 2 cm)</u>		
-Abondance	Peu abondant (2 à 15%)	De 15 à 30 %
-Forme dominante	Irrégulière	Irrégulière
-Arêtes	Anguleux	Anguleux
-Altération	Moyenne	Moyenne
 <u>Cailloux (2 à 20 cm)</u>		
-Abondance	Très peu < 2%	Peu abondant (2 à 15%)
-Forme dominante	Irrégulière	Irrégulière
-Arêtes	Anguleux	Anguleux
-Altération	Moyenne	Moyenne
 <u>Blocs (> 20 cm)</u>		
-Abondance	Très peu < 2%	Très peu < 2%
-Forme dominante	Irrégulière	Irrégulière
-Arêtes	Anguleux	Anguleux
-Altération	Moyenne	Moyenne
Texture	Argilo-limoneuse	Argilo-limoneuse
Structure	Fragmentaire	Fragmentaire
Activité biologique :		
-Racines	Très nombreuses	Racines
-Animaux	Quelques galeries	Quelques galeries
-Activité biologique globale	Bonne	Faible
Porosité :		
-Volume vide	Important	Assez important
-Porosité mécanique :		
Plasticité (si humide)	Très plastique	Plastique
Adhésivité (si humide)	Collant	Collant
Friabilité (si frais)	Friable	Peu friable
Fragilité (si frais)	Peu fragile	Peu fragile
Cohésion	Peu compact	Peu compact

Annexe n° 02. Quelques étapes de la description du profil culturel.



Préparation du profil.



Utilisation de la charte du MUNSELL.



La construction d'un boudin.



**Test de présence des éléments
Calcimagnésiques.**

Annexe n° 03. Données climatiques de la campagne (2010/2011).

Mois	P (mm)	T (C°)
Séptembre	3,4	21,02
Octobre	45,2	15,94
Nevenbre	47,8	10,01
Décembre	20	6,37
Janvier	13,3	6,74
Février	121	5,42
Mars	33	8,9
Avril	83,8	14,14
Mai	33,8	14
Juin	17,4	18,99

Annexe n° 04. Les valeurs moyennes du rendement et ses composantes.

A/ blé dur

	ZAIRI	MBB	BOUSSALEM	WAHA
NE	323,52	335,29	258,82	560,82
PMG	38,2	36,36	39,26	38
PLL	343,13	537,25	437,25	478,43
HI	50,11	44,11	42,96	50,94
NGE	27,17	33,78	32,49	23,19
NGM ²	8774	11330	8487	13005
RDT	335,29	423,52	333,33	494,12
RDT éco	678,42	960,77	770,58	972,55

B/ blé tendre

	ACSAD 901	HIDDAB 1220	WIFAK	RMADA
NE	429,41	254,9	292,15	350,98
PMG	35,66	29,56	36,23	37,43
PLL	535,29	250,98	341,17	643,13
HI	49,9	53,33	55,49	49,96
NGE	34,8	39,21	39,68	48,96
NGM ²	14950	9750	11575	17273
RDT	533,33	288,23	419,6	647,05
RDT éco	1068,6	539,2	760,8	1290,2

ملخص- العنوان : المساهمة في دراسة تأثيرات البذر المباشر على فعالية استغلال المياه و السلوك الصنفي لنبات القمح في منطقة شبه جافة. أجريت التجربة في الموقع التجريبي لمحطة التجارب للمعهد التقني للمحاصيل الكبرى بسطيف خلال الموسم الفلاحي 2010/2011 و التي تهدف إلى : تقييم تقنية البذر المباشر على المدى القريب كتقنية حافظة لرطوبة التربة و مدى تأثيرها على فعالية استغلال المياه و سلوك أربعة أصناف من القمح الصلب و أربع آخر من القمح اللين. أشارت النتائج أن تقنية البذر المباشر تحافظ على رطوبة عالية للتربة في الطبقة السطحية مقارنة بالطبقات السفلى، تغير شبه معدوم للكتلة الحجمية للتربة و بالتالي المسامية. تباين سلوك الأصناف المجربة الذي أدى إلى اختلاف في استغلال موارد الوسط ، النتائج الأكثر أهمية تتمثل في نجاح طوراً لإنبات لمختلف الأصناف في إطار البذر المباشر، مردود محفز خاصة بالنسبة للأصناف التالية : Mbb, Waha, Wifak, Acsad901, Rmada و تطور تدريجي للكتلة الحيوية في نهاية الموسم بفضل الاستغلال الأمثل للمياه.

كلمات مفتاحية : بذر مباشر، فعالية استغلال المياه ، قمح ، شبه جاف.

Résumé - Titre : Contribution à l'étude des effets du semis direct sur l'efficacité d'utilisation de l'eau et le comportement variétal de la culture de blé en région semi-aride]. l'expérimentation a été conduite durant la campagne 2010/2011 sur le site expérimental de l'Institut Technique de Grandes Cultures de Sétif (ITGC), avait deux objectifs : l'évaluation à court terme de la technique du semis direct comme une technique conservatrice de l'eau du sol et l'étude des effets de cette technique sur l'efficacité d'utilisation de l'eau et le comportement de quatre (04) génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) et quatre (04) génotypes de blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Les résultats indiquent que le semis direct garde une humidité de surface plus élevée qu'en profondeur, changement quasi-nul de la densité apparente et par conséquent la porosité du sol. Des divergences de comportement entre les génotypes testés qui conduisent à une différence d'exploitation des disponibilités du milieu, les résultats les plus intéressants sont : la réussite de la levée des différents génotypes dans le cadre du semis direct, des bons rendements surtout pour les génotypes Rmada, Acsad 901, Wifak, Waha et Mbb et une évolution progressive de la biomasse aérienne à la fin de cycle grâce à une utilisation efficiente de l'eau.

Mots-clés : Semis direct, efficacité d'utilisation de l'eau, blé, semi-aride.

Abstract -Title : Contribution of to the study effects of no tillage on water use efficiency and the varietal behavior of wheat crop in semi-arid region].The experiment conducted at the Setif ITGC experimental site during the 2010/2011cropping season, had two objectives : a short-term evaluation of the technique of no tillage as a conservative technique of the water of soil and theirs effects on water use efficiency and the behaviour of four durum genotypes (*Triticum durum* Desf.) and four bread genotypes (*Triticum aestivum* L.). The results indicate that no tillage keeps more moisture on surface than in depth, change almost nonexistent of bulk density and consequently the soil porosity. Differences of behavior between the tested genotypes that lead to a difference of exploitation of the environmental resources, the most interesting results are: the success of the emergence stage of the various genotypes within the framework of no tillage, best yields especially for the genotypes Rmada, Acsad 901, Wifak, Waha, and Mbb. A progressive evolution of dry matter at the end of cycle thanks to an efficient use of the water.

Key words: No tillage, water use efficiency, wheat, semi-arid.